

Section du Biologiste

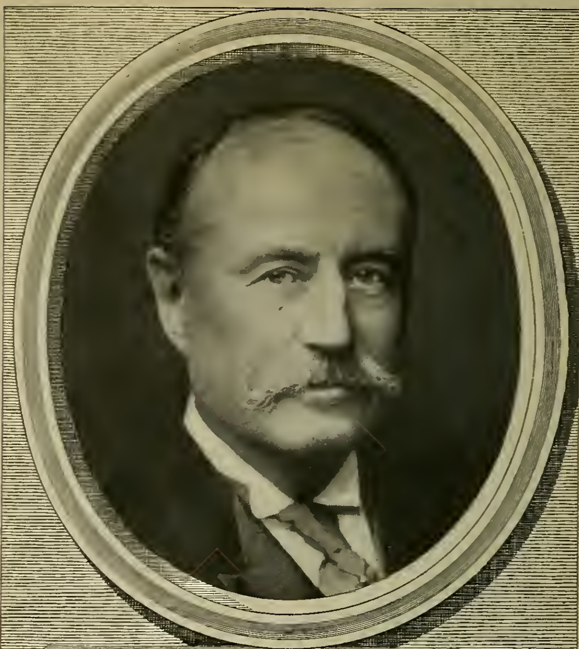


N. GRÉHANT

LES GAZ DU SANG

G. MASSON

GAUTHIER-VILLARS ET FILS



ENC

CHAQ

R.-V. cité
A. Go par
Duqu riai
Dwei mei à v
A. M de
Magn vin
Alhe tra
R.-V l'él
Aimé l'us
Lind
Th. S mi
Sauv à
Le C

Madamet. — Détente variable de la vapeur. Dispositifs qui la produisent.
Dudebout. — Appareils d'essai des moteurs à vapeur.
Croneau. — Canon, torpilles et cuirasse.
H. Gautier. — Essais d'or et d'argent.
Lecomte. — Les textiles végétaux.
Alheilig. — Corderie. Cordages en chanvre et en fils métalliques.
De Launay. — Formation des gîtes métallifères.
Bertin. — État actuel de la marine de guerre.
Ferdinand Jean. — L'industrie des peaux et des cuirs.
Berthelot. — Traité pratique de calorimétrie chimique.
De Viaris. — L'art de chiffrer et déchiffrer les dépêches secrètes.
Langlois. — Le lait.
Madamet. — Épures de régulation.
Guillaume. — Unités et étalons.
Widmann. — Principes de la machine à vapeur.

Demelin. — Anatomie obstétricale.
Cuénot. — Les moyens de défense dans la série animale.
A. Olivier. — La pratique de l'accouchement normal.
Bergé. — Guide de l'étudiant à l'hôpital.
Charrin. — Les poisons de l'organisme. Poisons de l'urine.
Roger. — Physiologie normale et pathologique du foie.
Brocq et Jacquet. — Précis élémentaire de dermatologie. Pathologie générale cutanée.
Hanot. — De l'endocardite aiguë.
Weill-Mantou. — Guide du médecin d'assurances sur la vie.
De Brun. — Maladies des pays chauds. — Maladies climatériques et infectieuses.
Broca. — Le traitement des ostéo-arthrites tuberculeuses des membres chez l'enfant.
Du Cazal et Catrin. — Médecine légale militaire.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

Ce volume est une publication de l'Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire ; F. Lafargue, ancien élève de l'École Polytechnique, Secrétaire général, 46, rue Jouffroy (boulevard Malesherbes), Paris.

N° 108 B.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

LES GAZ DU SANG

APPLICATIONS A L'HYGIÈNE EXPÉRIMENTALE

PAR

N. GREHANT

Professeur de Physiologie générale au Muséum d'Histoire naturelle,
Membre de la Société de Biologie



PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR,	GAUTHIER-VILLARS ET FILS,
LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE	IMPRIMEURS-ÉDITEURS
Boulevard Saint-Germain, 120	Quai des Grands-Augustins, 55

A

M. le Baron LARREY

Membre de l'Institut et de l'Académie de Médecine

Hommage de reconnaissance et de respectueuse affection,

N. Gréhant.

AVANT-PROPOS

—

Je réunis dans ce volume les résultats des recherches que je poursuis depuis longtemps sur les gaz du sang, sur l'oxyde de carbone, sur le dosage de l'urée et de la glycose, etc.

Les résultats que j'ai obtenus dans mes travaux personnels ou dans ceux qui ont été faits en collaboration avec mon ami si regretté, le Dr Quinquaud, sont immédiatement applicables à la Physiologie ; ils pourront en outre servir, je l'espère, au progrès d'une science nouvelle, l'hygiène expérimentale.

Lorsque j'ai commencé l'étude de l'absorption et de l'élimination de l'oxyde de carbone, à la suite des beaux travaux de Félix Leblanc et de mon illustre Maître, Claude Bernard, il était impossible de prévoir, qu'en utilisant l'animal comme réactif physiologique, je parviendrais à

doser dans l'air confiné, avec une exactitude absolue, un dix millième d'oxyde de carbone.

Le grisoumètre inventé par M. Coquillion est employé dans les Mines de houille et peut déceler un centième et même un quatre centième de grisou ou formène ; cet instrument que j'ai modifié pour l'adapter à mes recherches spéciales m'a rendu de grands services.

Depuis un an, j'ai fait travailler avec moi un jeune préparateur aussi zélé qu'habile, M. Nicloux, élève de l'École municipale de Physique et de Chimie que M. le Professeur Schutzenberger dirige avec tant de succès.

1er Octobre 1894.

N. GRÉHANT.

PREMIÈRE PARTIE

—

TECHNIQUE PHYSIOLOGIQUE

—

CHAPITRE PREMIER

—

POMPE A MERCURE ET RÉCIPIENT. DISPOSITIF DE GRÉHANT

La pompe à mercure a été décrite tant de fois, elle est devenue un instrument d'un usage si général dans les Laboratoires de Physiologie et de Chimie qu'il me suffira de dire que c'est un baromètre à large ampoule surmonté d'un robinet à trois voies et uni par un long tube de caoutchouc à parois épaisses avec un réservoir ou cuvette mobile. La condition essentielle pour le bon fonctionnement de cet instrument, c'est que le robinet de verre à trois voies garde indéfiniment le vide et je suis arrivé depuis longtemps à obtenir ce résultat en faisant mastiquer

par Alvergniat autour du robinet un manchon métallique formé de deux moitiés qui se superposent sur une garniture de caoutchouc : la moitié antérieure est percée d'un trou muni d'un rebord assez large pour laisser passer la clef du robinet : un petit manchon de caoutchouc fixé par des liens sur le rebord et sur la clef, permet de maintenir de l'eau dans le manchon, et jamais l'air extérieur ne pourra rentrer par un robinet ainsi noyé dans l'eau.

Du reste, dans presque tous les appareils que j'emploie, j'ai adopté la fermeture hydraulique qui est absolument sûre. Je dois insister ici sur le mode d'union du récipient avec le tuyau d'aspiration de la pompe (*fig.* 1). Le récipient est un ballon sphérique à col long d'un mètre ; le volume de la sphère creuse est égal à 600 centimètres cubes, le volume du col est égal à 300 centimètres cubes. Comme on introduira souvent dans ce récipient des liquides comme le sang qui donnent beaucoup de mousse, il est nécessaire que le col soit assez volumineux pour recevoir une partie de cette mousse qui, dans aucun cas, ne doit pénétrer dans la chambre barométrique de la pompe à mercure. On fait passer le col dans un bouchon de caoutchouc dont le trou a deux centimètres de diamètre et on attache sur le

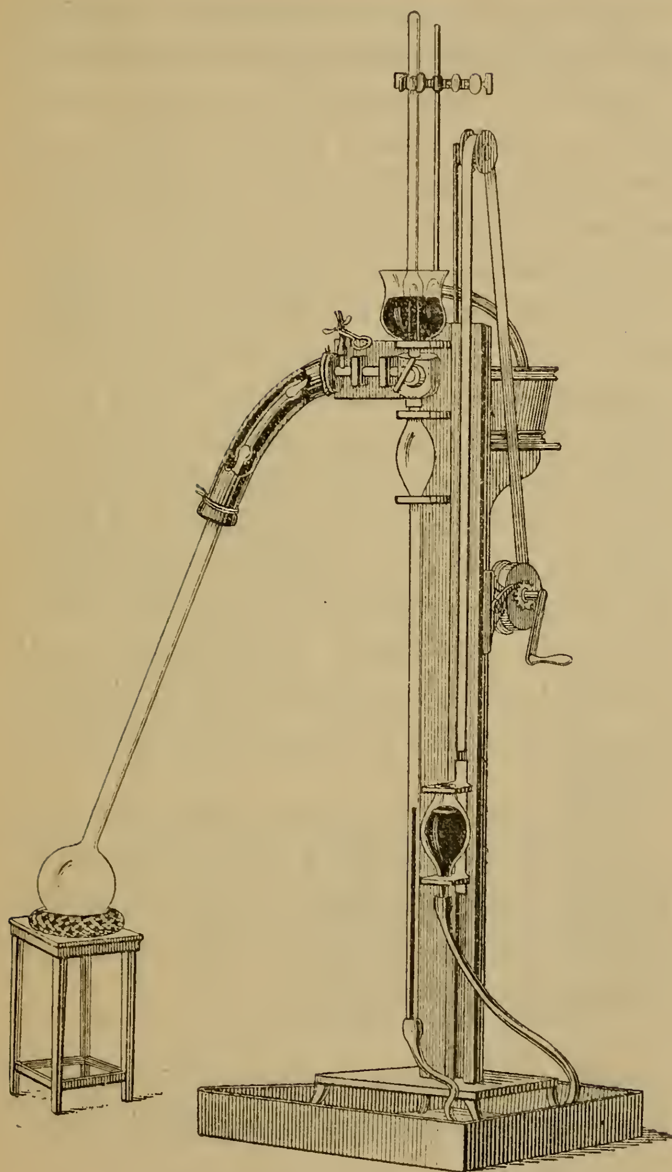


Fig. 1. — Ballon récipient et pompe à mercure d'Alvergniat. Dispositif de Gréhant.

bouchon un manchon de caoutchouc d'une longueur de 50 centimètres : on ferme l'ouverture du récipient avec un bouchon de caoutchouc traversé par un tube de verre à extrémité olivaire que l'on réunit au tube d'aspiration de la pompe par un bout de tube de caoutchouc court et à parois assez épaisses pour que la pression atmosphérique ne les aplatisse point lorsque le vide sera fait ; sur ce tuyau d'aspiration on a placé tout d'abord un large bouchon de caoutchouc à deux trous, dont l'un est traversé par un tube muni d'un bout de caoutchouc et d'une pince de Mohr ; lorsqu'on a réuni le récipient à la pompe, on fixe le manchon par un lien sur ce large bouchon, avec un entonnoir on remplit d'eau la cavité du manchon après avoir chassé complètement l'air et on obtient ainsi une excellente fermeture hydraulique qui permettra de conserver le vide dans le récipient.

La manœuvre du robinet s'apprend par l'usage; l'expérience indique les diverses positions que l'on doit donner à la clef qui porte à l'extérieur un tracé indiquant la situation du canal et du demi-canal perpendiculaire.

Trompe de Golaz. — Pour faire le vide dans le récipient et le vide que j'appelle absolu en né-

gligeant la vapeur d'eau, on a soin d'introduire d'abord dans le récipient quelques gouttes d'eau

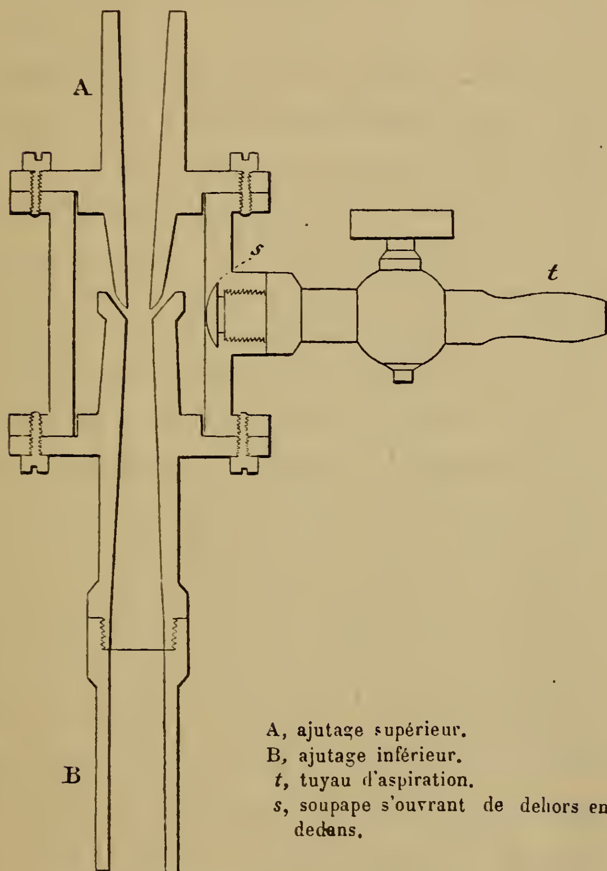


Fig. 2. — Coupe de la trompe métallique de Golaz.

distillée et de l'immerger dans un bain chauffé à 40°, ou à une autre température, ou à 100°. On

fixe avec un tube de caoutchouc, au-dessus du robinet de la pompe, au centre de la petite cuve à déversement que représente la *fig.* 1, une pipette de verre qui est réunie par un long tube de caoutchouc à vide avec le robinet d'aspiration d'une trompe métallique de Golaz ; cet instrument, qui est représenté en coupe par la *fig.* 2, permet d'obtenir un vide approché dans le récipient et dans la pompe qui sert de baromètre si l'on dispose d'une pression d'eau de 10 mètres environ : la trompe de Golaz est un adjuvant très utile ; lorsque la colonne mercurielle devient fixe et que l'écoulement rapide de l'eau fait entendre un son aigu, la trompe a produit tout son effet, on tourne le robinet convenablement, on détache la pipette, on arrête la trompe, et par trois ou quatre manœuvres de la pompe, descente et ascension de la cuvette mobile, on obtient le vide parfait que l'on reconnaît à deux caractères : 1° au choc sec produit par la rencontre du mercure avec le robinet, choc souvent dangereux qui peut briser l'appareil et qu'il faut amortir en comprimant le tube de caoutchouc, entre le pouce et l'index, comme l'a conseillé depuis longtemps mon ami M. le Professeur Jolyet, de Bordeaux ; 2° en tournant le robinet convenablement, la cuvette mobile étant soulevée au maximum, on ne voit s'échap-

per à travers le mercure aucune bulle d'air, mais seulement une goutte d'eau qui a été condensée dans la chambre barométrique.

Extraction des gaz du sang. — *Prise de sang artériel.* Le vide étant obtenu dans le récipient, veut-on extraire les gaz du sang artériel ? Il faut d'abord découvrir une artère, chez un chien morphiné et chloroformé par exemple ; si l'on veut agir sur l'artère carotide, on fait une incision de 4 à 5 centimètres à la partie moyenne du cou, et comprenant seulement l'épaisseur de la peau ; avec les doigts introduits dans la plaie, on pénètre en séparant les fibres musculaires jusqu'à la face antérieure de la trachée, on sent avec l'index l'artère que l'on appuie sur les vertèbres cervicales, on saisit le vaisseau entre le pouce et l'index et on le soulève jusqu'au-dessus de la plaie, on passe immédiatement au-dessous une sonde cannelée : ce procédé opératoire que j'emploie actuellement est très commode et très rapide ; l'artère est isolée du nerf pneumogastrique son satellite, on lie le bout périphérique, on passe un second fil, on fait comprimer par un aide entre les doigts le bout central le plus loin possible de la première ligature, on incise le vaisseau par une ouverture de 5 à 7 millimètres, on

introduit, après avoir soulevé avec un ténaculum mousse la paroi antérieure de l'artère, l'extrémité d'une canule métallique ou d'une canule de verre présentant un léger rétrécissement sur lequel on lie le vaisseau ; il faut avoir soin de fixer sur la canule tout d'abord un tube de caoutchouc fermé par une baguette de verre plein et pour plus de sûreté, on comprime le caoutchouc, soit avec une pince de François-Franck, soit avec deux pinces de Péan dont on réunit les anneaux par une corde nouée derrière l'occiput : on évite ainsi la torsion ou le déplacement de l'artère.

Seringue de Physiologie. — Pour prendre un volume donné de sang artériel, j'emploie depuis un an seulement un instrument qui m'a rendu de très bons services, c'est une seringue spéciale que j'ai fait construire par Golaz : elle se compose d'un cylindre de verre à parois épaisses exactement rodé à l'intérieur, ayant $2^{cm},5$ de diamètre extérieur et 25 centimètres, de long ; les extrémités du cylindre sont mastiquées dans deux montures d'acier dont l'une porte un robinet du même métal terminé par un ajutage de forme olivaire dont le plus grand diamètre mesuré au Palmer est de $7^{mm},5$; l'autre extrémité du cylindre de verre est mastiquée dans un

cylindre d'acier qui porte deux viroles saillantes sur lesquelles vient se fixer un couvercle mobile sur la tige du piston arrondie d'un côté plane de l'autre et qui porte une division en centimètres cubes ; le couvercle se fixe sur les viroles exactement comme une baïonnette. Le piston est formé de deux cylindres de cuir embouti qui gardent très bien.

La tige d'acier du piston se termine par un bouchon vissé ; si on l'enlève, on peut, ayant retiré le piston et la virole, isoler complètement la tige et fixer sur elle avec une vis un curseur qui devient fixe et qui limitera le volume de liquide aspiré par la seringue ; on peut, par exemple, dans une série d'expériences aspirer chaque fois 10 centimètres cubes de sang, dans une autre série 25 centimètres cubes, ou comme je le fais souvent 42 centimètres cubes, volume total de l'instrument. L'extrémité du robinet est engagée dans le caoutchouc de la canule artérielle, on aspire quelques centimètres cubes de sang, on ferme un instant le vaisseau et en retournant complètement la seringue, on déplace le sang qui chasse l'air contenu dans l'espace nuisible, puis on aspire dans l'artère le volume de sang sur lequel on veut opérer ; la seringue est unie par un caoutchouc au tube qui surmonte le robinet

de la pompe à mercure, on tourne le robinet en position convenable, on appuie peu à peu sur le bouton et sur la tige du piston. Le sang pénètre dans le col et dans le récipient, on ferme le robinet à trois voies : il est nécessaire alors de faire pénétrer du mercure venant de la petite cuve et de la chambre barométrique remplie de métal afin de chasser dans le récipient les portions de sang qui restent dans les tubes, il est bon aussi de soulever et d'abaisser le récipient deux ou trois fois pour réunir le liquide et la mousse dans le ballon que l'on immerge dans le bain d'eau.

Pour recueillir les gaz que les manœuvres de la pompe vont extraire, j'emploie de préférence des cloches de verre graduées ayant 48 centimètres de long, 15 millimètres de diamètre extérieur, divisées à partir du sommet en 50 centimètres cubes ; chaque centimètre cube occupe à peu près une longueur de 9 millimètres et a été divisé en dix parties égales ; après avoir lavé la cloche graduée avec de l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique contenue dans un flacon de Mariotte à robinet de verre afin d'enlever les moindres traces d'alcali, qui pourraient provenir d'analyses antérieures, on remplit la cloche de mercure, on laisse à la partie supérieure un centimètre cube environ que l'on remplit d'acide

chlorhydrique étendu, on enveloppe le pouce d'un doigtier de caoutchouc pour fermer la cloche, la retourner, la porter au-dessus du robinet de la pompe (en évitant autant que possible le contact du mercure avec la peau).

Le tube gradué présente à sa partie inférieure une extrémité élargie ayant deux centimètres de diamètre, qui rend plus facile le déplacement du mercure par les gaz ; il faut avoir soin de soulever légèrement avec une pince adaptée au support de la pompe le tube qui ne doit point reposer sur le fond de la petite cuve, ce qui pourrait rendre possible l'échappement du gaz au dehors et causerait la perte de l'expérience et une perte de temps.

Analyse des gaz sur la cuve à mercure profonde. — La cloche est portée sur une cuve à mercure profonde formée d'un tube de fer soudé à une cuvette dant l'ouverture a la forme d'un rectangle ; deux glaces opposées mastiquées dans les parois verticales permettent d'apercevoir nettement le niveau du mercure dans la cuvette et dans la cloche ; avant de faire la lecture du volume des gaz il faut avoir soin de maintenir la cloche immergée dans le mercure pendant quelques minutes pour que les gaz prennent la

température du métal ; pour cela on enfonce la cloche avec un couvercle de bois muni d'un bouchon de liège que l'on maintient appliqué à l'aide d'une pince.

Comme on emploie successivement comme réactifs absorbants de l'acide carbonique, la potasse, et de l'oxygène, une solution d'acide pyrogallique il est bon d'installer deux cuves profondes voisines, servant l'une exclusivement pour la potasse et l'autre pour l'acide pyrogallique.

Lorsqu'il s'agit de rechercher dans le sang un gaz combustible, j'absorbe seulement l'acide carbonique et je laisse l'oxygène qui doit servir à brûler ce gaz combustible, il est bon, en effet, de se rappeler un fait qui a été signalé par Boussingault, c'est que l'acide pyrogallique et la potasse en solution concentrée peuvent dégager une trace d'oxyde de carbone.

CHAPITRE II

—

DESCRIPTION DU GRISOUMÈTRE DE GRÉHANT

Dans le grisoumètre qu'il a inventé, M. Coquillion emploie un fil de platine maintenu au rouge par le courant d'une pile, et un mesureur formé d'une ampoule de verre et d'un tube étroit et gradué : si le gaz introduit dans le mesureur est conduit deux fois, aller et retour dans le brûleur, il y a une diminution de volume ou réduction de gaz qui dépend de la proportion de gaz combustible contenue dans l'air : j'ai modifié l'appareil de Coquillion en m'appuyant exactement sur le même principe.

Mon grisoumètre se compose (*fig.* 3) d'une ampoule cylindrique dont l'extrémité inférieure se continue par un tube vertical long de 45 centimètres qui a un diamètre extérieur de 7 milli-

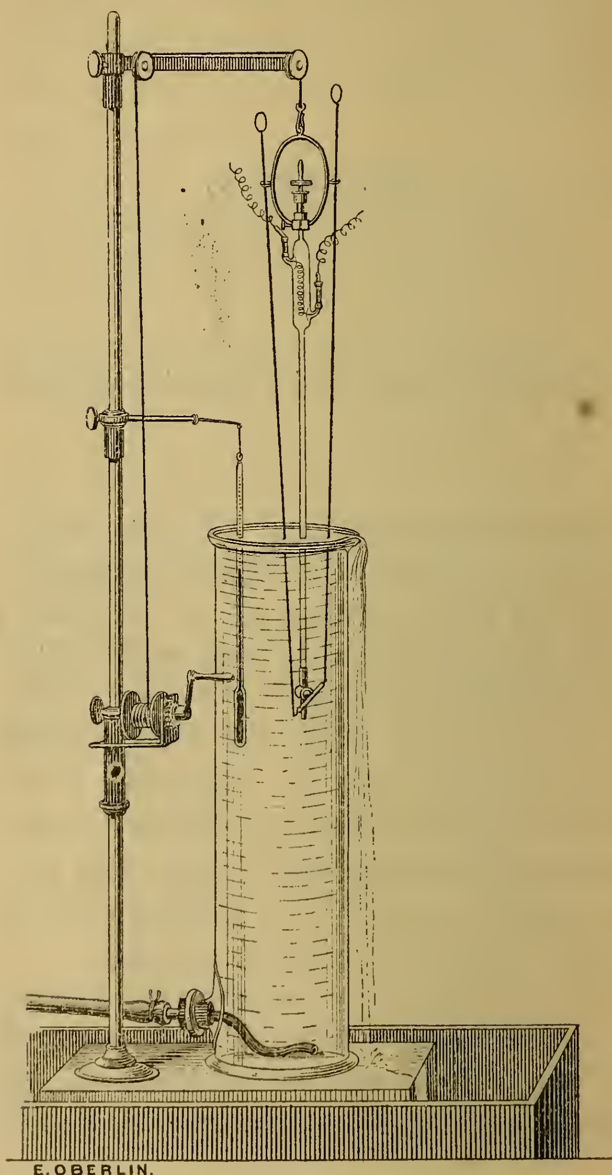
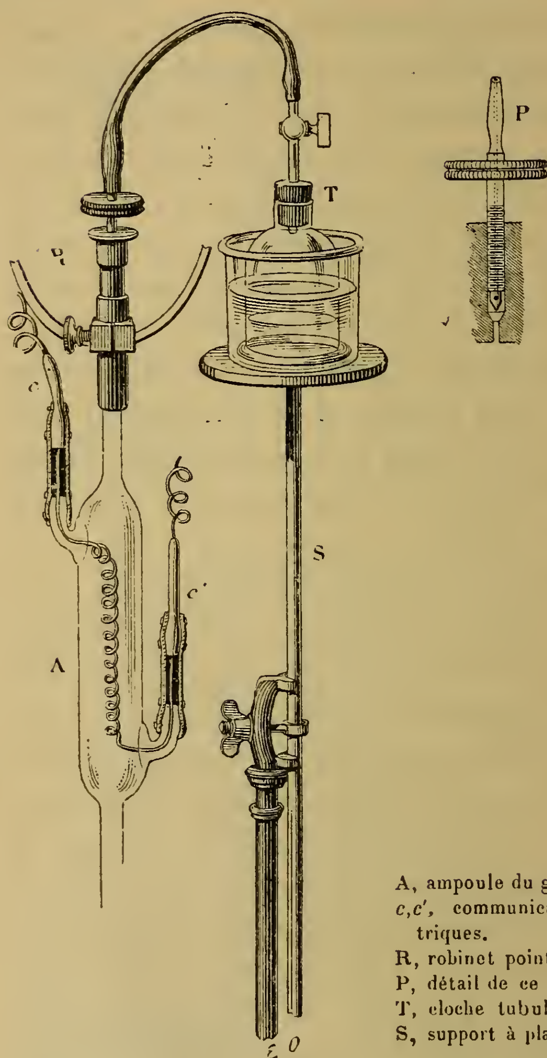


Fig. 3. — Installation complète du grisoumètre de Gréhant.

mètres. Ce tube est divisé à partir de la soudure en 86 parties d'égal volume que j'appelle les divisions du grisoumètre ; sur les parois de l'ampoule le constructeur a soudé deux tubes recourbés dont l'axe solide est traversé par un fil de platine offrant dans l'ampoule un fil enroulé en spirale. On verse dans ces tubes du mercure qui environne les extrémités du fil de platine, et on attache avec des tubes de caoutchouc deux fils de cuivre recouverts de gutta-percha dont les extrémités libres terminées par des bornes doivent recevoir le courant d'une pile de Bunsen de 6 à 8 éléments.

A la partie supérieure de l'ampoule, le constructeur, Golaz, a mastiqué un robinet pointeau de laiton R, P (*fig.* 4) qui donnera pour la fermeture de l'ampoule une sécurité absolue : on sait que ce robinet est formé d'un tube percé dans son axe d'un canal qui vient se terminer un peu au-dessus d'une pointe solide que l'on peut par un mouvement de vis, dans un écrou, enfoncer dans une plaque métallique horizontale percée d'un trou faisant corps avec le tube métallique mastiqué sur le verre ; le tube central du robinet est muni d'un bouton que l'on peut tourner facilement et d'une extrémité libre à renflement olivaire.



A, ampoule du grisoumètre.
c,*c'*, communications électriques.
R, robinet pointeau.
P, détail de ce robinet.
T, cloche tubulée.
S, support à plateau.

Fig. 4.

A la partie inférieure du tube (*fig.* 3), j'ai fait

mastiquer un autre robinet de laiton, un robinet ordinaire, mais comme il serait pénible de mouvoir ce robinet avec la main immergée dans l'eau froide, j'ai employé une disposition spéciale qui permet d'ouvrir ou de fermer le robinet à l'aide de deux longues tiges de laiton terminées par des anneaux et qui agissent comme bielles sur la clef du robinet : le noyau de ce robinet a été percé de telle sorte que dans la position représentée par la *fig.* 3, l'axe du canal fait un angle de 45° avec l'horizon, de sorte qu'il suffit de tourner d'un quart de tour dans le sens des aiguilles d'une montre pour fermer complètement le robinet (le canal est alors horizontal) et d'un quart de tour dans le sens inverse au mouvement des aiguilles d'une montre pour ouvrir le robinet (le canal est alors vertical) : par ce procédé ingénieux dû à Golaz, il n'y a pas de point mort, le mouvement des tiges est facile et toujours efficace.

Support du grisoumètre. — On ouvre le robinet inférieur et le robinet pointeau et on immerge dans l'eau l'instrument soutenu par un anneau spécial à une corde qui s'enroule sur des poulies et vient finalement se fixer sur un petit treuil mobile à l'aide d'une manivelle (*fig.* 3),

treuil pourvu d'une roue à rochet et d'un cliquet ; pour que le grisoumètre soit complètement immergé dans l'eau, j'emploie un bocal cylindrique de cristal d'une hauteur de 84 centimètres, d'une largeur de 20 centimètres dans lequel pénètre un tube de plomb qui descend verticalement le long de la paroi intérieure et se termine sur le fond par une extrémité recourbée en cercle : l'eau arrive constamment par ce tube et se déverse à la partie supérieure du bocal, d'où elle tombe dans un grand plateau de zinc à rebord porté par une table ayant seulement 42 centimètres de hauteur, offrant un tuyau d'échappement au dehors.

La température de l'eau est donnée par un thermomètre à mercure de précision, divisé en degrés et dixièmes de degrés : dans toutes les analyses grisoumétriques que l'on fait dans une séance de Laboratoire, la température ne varie souvent pas d'un dixième de degré, c'est une condition essentielle pour que l'on obtienne des résultats exacts : en effet, le grisoumètre peut fonctionner comme un thermomètre à air et dès qu'on le sort de l'eau pour faire une lecture dans l'air, dont la température est généralement plus élevée, on voit s'accroître le volume occupé par le gaz.

Jeaugeage du grisoumètre. — Après avoir ouvert les deux robinets, on immerge complètement l'instrument dans l'eau et pour accélérer le remplissage, on emploie une poire de caoutchouc à parois élastiques comprimées d'abord, qui est adapté sur le robinet pointeau ; lorsque l'on a rempli le tube et l'ampoule, on ferme les deux robinets, on soulève le grisoumètre, on l'essuie avec du papier à filtrer ; on dévisse un peu le robinet pointeau et on ouvre le robinet inférieur avec précaution au-dessus d'une cloche graduée : le volume de l'eau qui remplit l'ampoule et trois divisions a été trouvé égal à $28^{cm^3},7$; en ajoutant le volume d'eau qui remplissait 74 divisions, on a trouvé $33^{cm^3},15$, la différence $4^{cm^3},45$ correspond à 74 divisions ; par suite, une division vaut $\frac{4^{cm^3},45}{74} = 0^{cm^3},06$. 3 divisions ont un volume égal à $0^{cm^3},18$, par suite, le volume de l'ampoule jusqu'au zéro que je désigne par v est égal à $28^{cm^3},7 - 0,18 = 28^{cm^3},52$.

Nous aurons besoin plus tard de ces données qui s'obtiennent avec la plus grande facilité.

Pile employée. Pile de Bunsen. Ampèremètre. — Pour faire rougir le fil de platine, je me suis servi d'abord d'une pile à bichromate

de potasse de six éléments, mais j'ai reconnu que cette pile se polarise très vite, l'intensité qui est fort grande au début, diminue progressivement et bientôt le courant devient insuffisant : l'expérience a montré que, pour un travail continu ou intermittent qui doit durer souvent 5 ou 6 heures, la pile de Bunsen est tout à fait supérieure ; avec six éléments de grand modèle, à la condition d'employer des zincs bien amalgamés, de l'acide nitrique assez souvent renouvelé, j'obtiens facilement un courant qui, mesuré à l'Ampèremètre, donne 9 ampères ; ce courant est bien suffisant pour maintenir au rouge vif un fil de platine de $\frac{1}{10}$ de millimètre de diamètre et 10 à 15 centimètres de longueur.

La pile de Bunsen offre un grand inconvénient : elle dégage des vapeurs nitreuses qu'il faut se garder de respirer, elles sont très toxiques ; en outre, ces vapeurs attaquent le cuivre et seraient funestes dans un Laboratoire où se trouvent des instruments de précision de cuivre ou de laiton. Aussi, je fais monter la pile au dehors, en plein air, à 15 mètres du laboratoire sur une table et je recommande au garçon de laboratoire de se placer toujours du côté d'où vient le vent qui emporte les vapeurs nitreuses ; s'il pleut, on tend, à 2 mètres au-dessus de la

table qui supporte les éléments, une bâche goudronnée qui sert d'abri.

Dans les Laboratoires qui possèdent une machine à vapeur ou à gaz et une dynamo et des accumulateurs, il est évident qu'il y a un grand avantage à employer ces sources d'électricité, c'est ce que j'ai fait, lorsqu'au Congrès de Physiologie de Liège qui a eu lieu en 1892, j'ai démontré l'emploi de mon grisoumètre ; j'avais à ma disposition dans le Laboratoire de M. Frédéricq, une série d'accumulateurs qui ont maintenu le fil de platine au rouge blanc sans le faire fondre.

Mesure des réductions obtenues dans le grisoumètre par un centimètre cube de divers gaz combustibles. — Avant d'utiliser le grisoumètre pour des recherches analytiques, il est indispensable de mesurer les réductions ou diminutions de volume que l'instrument permet d'obtenir, quand on emploie l'oxyde de carbone, l'hydrogène ou le formène.

Pour introduire dans le grisoumètre plein d'eau un mélange gazeux quelconque, j'emploie une petite cloche tubulée à robinet de laiton qui est remplie d'abord d'eau, puis du gaz que l'on veut soumettre à la recherche (*fig.* 4) : la cloche,

immergée dans un bocal plein d'eau, est portée sur un plateau que l'on peut élever et fixer à une hauteur de 1m,70 ; un tube de caoutchouc à calibre presque capillaire et à parois épaisses rempli d'eau tout d'abord sert à unir le robinet de la cloche avec le robinet pointeau du grisoumètre, que l'on soulève au-dessus du bocal ; on ouvre les trois robinets, celui de la cloche et ceux du grisoumètre ; il se produit une aspiration dans cet instrument qui fait passer le gaz et l'eau dans l'ampoule ; si le volume du gaz est insuffisant, on détache la cloche tubulée et le caoutchouc, on ferme avec le doigt l'ouverture du robinet pointeau et on laisse rentrer de l'air jusqu'à ce que le mélange gazeux remplisse l'ampoule et un certain nombre de divisions du tube; on visse le robinet supérieur qui ferme parfaitement et en laissant ouvert le robinet inférieur, on immerge le grisoumètre de telle sorte que la surface du cercle ou bouton du robinet coïncide avec le niveau de l'eau, on fait à la loupe la lecture du volume occupé par le gaz en menant la tangente au ménisque concave, mais il faut avoir soin de laisser l'instrument dans l'eau pendant au moins cinq minutes avant de faire la première lecture ; il faut, en effet, un certain temps pour que les

gaz aient pris exactement la température de l'eau ; si l'on fait une seconde lecture au bout de dix minutes, on reconnait que les deux volumes sont égaux.

Généralement, je fais chaque fois deux lectures du volume, l'une sous pression, le grisoumètre étant immergé, l'autre sans pression, l'instrument étant sorti complètement de l'eau, mais pour cette seconde lecture qui est un peu moins sûre que la première, il faut opérer vite, car ce qui arrive presque toujours, c'est que la température de l'air du laboratoire est plus élevée que celle de l'eau et les gaz contenus dans l'ampoule se dilatent peu à peu ; lorsqu'il s'agit de reconnaître des quantités fort petites de gaz combustible, la lecture sous pression est plus rigoureuse, la température de l'eau restant invariable.

Réduction produite par un centimètre cube d'oxyde de carbone. — J'introduis dans le grisoumètre $0^{cm^3},92$ d'oxyde de carbone pur, mesuré dans un tube gradué, assez étroit pour que cinq centimètres cubes, divisés en 100 parties égales, occupent une longueur de 173 millimètres ; on ajoute de l'air et la lecture donne, pour le volume du mélange, v (volume de l'ampoule) + 47 divisions, sans pression.

Interrupteur. — On porte le fil de platine 50 fois au rouge par 50 fermetures et 50 ouvertures d'un interrupteur fixé sur une table et qui est représenté (*fig.* 5), ou on se sert d'un interrupteur mécanique (*fig.* 6) auquel il faut imprimer un mouvement lent pour que le fil de platine soit porté au rouge

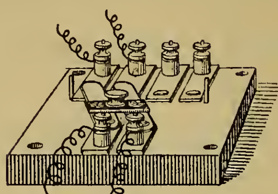


Fig. 5.
Interrupteur électrique à main.

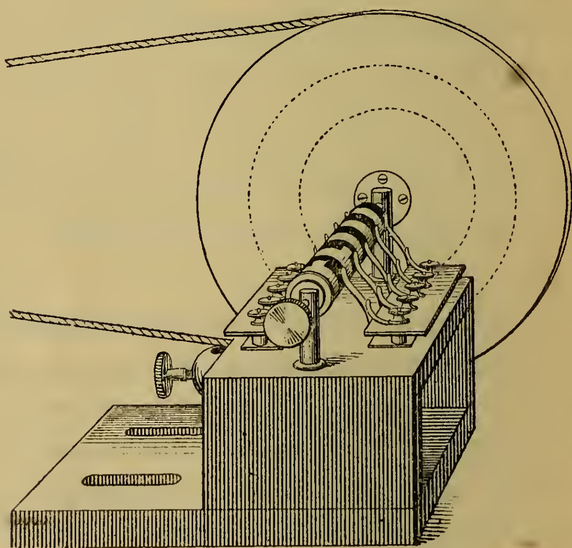


Fig. 6. — Interrupteur électrique mécanique mis en mouvement par un moteur hydraulique.

à chaque interruption ; chaque tour de l'axe

d'ébonite ou caoutchouc durci, détermine 5 passages du courant et 5 interruptions :

Le volume devient	$v + 41,5$
100 fois au rouge.	$v + 40$
100 fois au rouge.	$v + 40$ (constant)

Ainsi $0^{cm^3},92$ d'oxyde de carbone ont donné une réduction égale à 7 ; quelle aurait été la réduction pour un centimètre cube d'oxyde de carbone pur ? $\frac{0,92}{7} = \frac{1^{cm^3}}{x}$ $x = 7,6$ divisions : ce nombre est fort souvent employé comme on le verra dans la suite de mes recherches. 7, 6 divisions occupent une longueur de 39 millimètres dans le tube du grisoumètre, un seul dixième de centimètre cube donnerait une réduction de 0,76 division, très appréciable, occupant une longueur de $3^{mm},9$; la sensibilité du grisoumètre est extrême.

Réduction produite par un centimètre cube de formène. — Avant de faire cette mesure, il faut analyser le formène qui a été préparé par l'acétate de soude et la chaux sodée : j'introduis dans un eudiomètre

	$7^{cm^3},7$ gaz
	27,8 gaz + oxygène
Étincelle, forte détonation, potasse	7,7
	$20^{cm^3},1$ (réduction)

Or, on sait qu'un volume de formène absorbe deux volumes d'oxygène et donne un volume d'acide carbonique ; en prenant donc le tiers du volume disparu, c'est-à-dire $\frac{20,1}{3}$ nous obtiendrons 6,7 pour le volume de formène pur contenu dans $7^{cm^3},7$ de gaz.

On mesure dans le petit tube gradué 1,5 de ce gaz et on ajoute de l'air en suffisante quantité que l'on fait passer dans le grisoumètre.

première lecture :	$v + 73$ sans pression	
100 fois le fil est porté au rouge	$v + 41$	
// //	$v + 35$	
// //	$v + 33,5$	constant.
// //	$v + 33,5$	

$\frac{7,7}{6,7} = \frac{1,5}{x}$ $x = 1^{cm^3},3$ formène pur introduit.

La réduction a été considérable :

$73 - 33,5 = 39,5$; écrivons la proportion :

$$\frac{39,5}{1,3} = \frac{y}{1} \quad y = 30,4.$$

Mais nous savons qu'un centimètre cube d'oxyde de carbone absorbe pour brûler un demi-centimètre cube d'oxygène et fournit un centimètre cube d'acide carbonique ; la réduction, pour l'oxyde de carbone, l'acide carbonique n'étant point absorbé dans mon grisoumètre

est donc quatre fois moindre que pour le formène : divisons 30,4, la réduction observée pour un centimètre cube de formène par le chiffre 4 et nous obtenons 7,6, exactement ce qu'a donné la première expérience ; il est impossible d'obtenir une plus grande exactitude dans des résultats qui se contrôlent.

Le grisoumètre est quatre fois plus sensible pour le formène que pour l'oxyde de carbone, on pourrait déceler avec cet instrument un centième de centimètre cube qui donnerait 0,3 division, correspondant à un déplacement du ménisque de $1^{mm},7$.

Réduction produite par un centimètre cube d'hydrogène. — J'introduis dans un petit tube gradué de verre ayant un centimètre de diamètre extérieur et portant 100 divisions valant chacune un dixième de centimètre cube $1^{cm^3},3$ d'hydrogène de la composition donnée par l'analyse eudiométrique de la p. 44, j'écris la proportion :

$$\frac{20,4}{20,133} = \frac{1,3}{x} \quad x = 1^{cm^3},28 \text{ hydrogène pur.}$$

Ce volume est transvasé dans la petite cloche graduée contenant 15 à 20 centimètres cubes

d'air et le mélange est introduit dans le grisoumètre avec assez d'air pour remplir l'ampoule et un assez grand nombre de divisions de la tige.

Après une immersion de l'instrument dans l'eau du bocal, d'une durée égale au moins à cinq minutes, on fait les lectures :

sous pression	36.5	100 passages du courant	15	300 passages	12.7
sans pression	56		29		26,4.

On attend aussi cinq minutes à la fin de l'analyse pour obtenir l'invariabilité du volume; la réduction est égale à $56 - 26,4 = 29,6$; mais c'est un volume d'hydrogène égal à $1^{cm^3},28$ qui a donné cette réduction, un seul centimètre cube d'hydrogène aurait donné $\frac{29,6}{1,28} = 23,1$. Or, nous avons trouvé qu'un centimètre cube d'oxyde de carbone donne une réduction égale à 7,6; un centimètre cube d'hydrogène doit donner une réduction 3 fois plus grande ou 22,8, l'expérience donne 23,1 nombre très voisin du précédent; la petite différence 0,3 peut tenir à des modifications dans la température de l'eau du bocal qui n'a pas été exactement la même lorsqu'on a fait les mesures avec les différents gaz combustibles.

J'adopte donc pour les chiffres de réduction donnés par mon grisoumètre :

pour 1^{cm^3} d'oxyde de carbone	7.6 divisions
pour 1^{cm^3} d'hydrogène	22.8
pour 1^{cm^3} formène	30.4

CHAPITRE III

EUDIOMÉTRIE

Eudiomètre ordinaire. — L'eudiomètre, dont je me sers souvent, ressemble beaucoup à celui de M. Riban ; il en diffère par l'écartement des boutons de platine qui terminent les deux fils dont les extrémités à l'intérieur de la cloche graduée en centimètres cubes et cinquièmes sont à une distance fort petite, deux millimètres environ (*fig.* 7). Comme j'opère toujours sur l'eau, la cloche est humide et il faut empêcher par l'écartement des boutons de platine qui sont supportés par deux tubes de verre plein, le passage de l'électricité sur la surface extérieure de la cloche ; j'ai reconnu qu'il est avantageux de fermer l'eudiomètre par un bouchon de

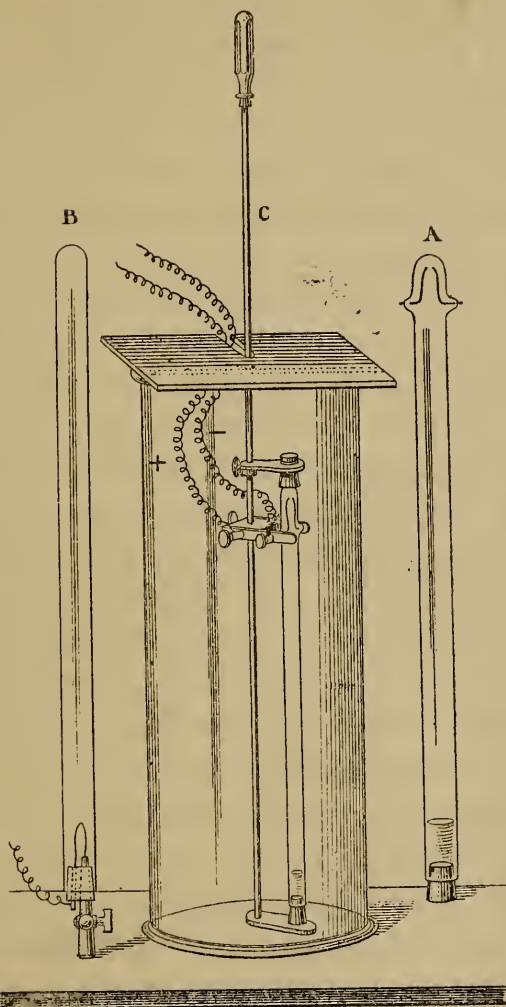


Fig. 7. — A, eudiomètre ordinaire ; B, eudiomètre à fil continu, C, support métallique, excitateur et bocal de verre contenant l'eudiomètre.

caoutchouc traversé par un robinet de laiton; quand on a fait passer les gaz qui doivent détoner, après avoir fait la lecture, il reste de l'eau dans la cloche; j'unis le robinet par un tube de caoutchouc épais, soit avec le tuyau d'aspiration d'une trompe, soit avec celui d'une pompe à mercure et j'ouvre avec précaution le robinet pour aspirer l'eau et ne laisser dans la cloche qu'un seul centimètre cube de liquide; lorsqu'après avoir fait passer l'étincelle il y a une réduction, le dégagement des gaz dissous dans l'eau et qui rendait l'analyse moins exacte ne se produit plus; on ouvre peu à peu le robinet immergé dans une cuve à eau : j'obtiens en opérant ainsi, à la condition de ramener toujours les gaz à la même température avant chaque lecture, autant d'exactitude dans l'analyse faite sur l'eau que dans l'analyse faite sur le mercure à la condition de n'opérer que sur des gaz fort peu solubles dans l'eau.

Au moment du passage de l'étincelle fournie par une bobine d'induction, il faut que l'eudiomètre soit maintenu; il y a longtemps que j'ai fait construire un support spécial C (*fig. 7*). J'ai fait souder, à l'extrémité d'une longue tige de laiton, une petite plaque métallique fixée dans un plan perpendiculaire, et je fais glisser sur la

tige un curseur mobile que je fixe à l'aide d'une vis : ce curseur est traversé par un bouchon de liège qui a été creusé de manière à s'appliquer sur le sommet de l'eudiomètre. En outre, un excitateur d'ébonite présentant deux ressorts platinés et deux bornes qui reçoivent les fils de la bobine d'induction est fixé sur la tige à une hauteur telle que les ressorts appuient sur les boutons de l'eudiomètre.

Il faut avoir soin, en outre, de protéger l'expérimentateur contre l'explosion de la cloche, accident qui s'est produit plusieurs fois, surtout lorsque je faisais l'analyse du formène ou de l'éthylène ; l'eudiomètre et son support sont introduits dans un grand bocal de verre fermé par une glace épaisse maintenue dans un cadre de bois.

Il faut avoir soin de bien agiter les gaz afin d'obtenir un mélange homogène et une combustion complète.

Gaz de la pile. — Si la proportion du gaz combustible est trop faible, il est nécessaire d'ajouter du gaz de la pile obtenu par la décomposition d'une solution de potasse (qui ne donne pas d'ozone) à l'aide d'un appareil tout semblable à celui de Bunsen, mais qui ne présente

point d'espace nuisible (*fig.* 8); dès qu'on fait passer le courant à l'aide d'un excitateur semblable à celui de l'eudiomètre, on reçoit aussitôt dans une cloche pleine d'eau, fermée par le pouce recouvert d'un doigtier de caoutchouc et portée sur le tube central de la cuvette, un gaz mélange d'hydrogène et d'oxygène qui ne donne aucun résidu.

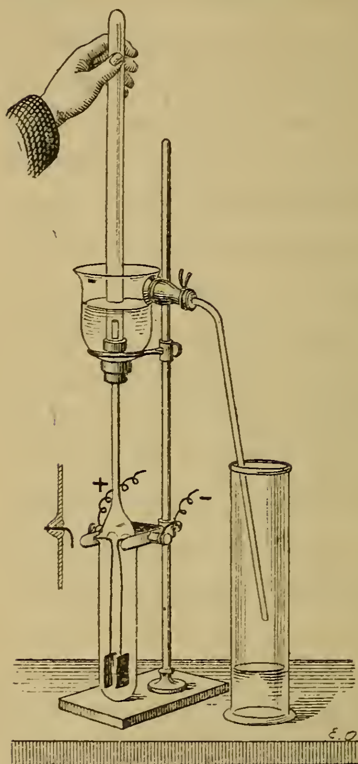


Fig. 8. — Appareil de Bunsen pour la préparation du gaz de la pile, modifié par Gréhant.

Eudiomètre à fil de platine continu. — Au lieu de faire l'analyse des gaz par l'eudiomètre à fils de platine interrompus qui permettent de faire jaillir des étincelles dans les mélanges gazeux, j'emploie souvent le procédé de Coquillion ; je porte au rouge un fil de platine qui enflamme

les gaz combustibles additionnés d'une suffisante quantité d'oxygène B (*fig.* 7), la disposition suivante permet d'obtenir des résultats très exacts : je choisis une cloche de 50 centimètres de longueur ayant 2 centimètres de diamètre qui est divisée en centimètres cubes et cinquièmes de centimètre cube; dans cette cloche pleine d'eau, on fait passer, par exemple, 50 centimètres cubes d'air et 50 centimètres cubes d'hydrogène pur, que l'on agite avec de l'eau pendant quelques instants afin d'obtenir un mélange homogène : on ferme la cloche avec un bouchon de caoutchouc à deux trous traversés l'un, par un robinet métallique, l'autre, par une borne de communication présentant à l'extérieur un trou et une vis destinée à serrer un fil de cuivre se rendant à l'un des pôles d'une pile de Bunsen de 6 éléments.

On fixe un fil de platine formant une anse de 4 centimètres de hauteur sur l'extrémité intérieure du robinet et sur la borne de communication et on enfonce le bouchon sous l'eau de manière à fermer la cloche, le robinet étant ouvert; l'anse de platine doit pénétrer dans le gaz; s'il y avait trop d'eau, et si le fil était immergé, il faudrait, avec une ampoule de caoutchouc aplatie, absorber une partie de l'eau

pour faire dilater le gaz qui doit envelopper le fil de platine, qui, porté au rouge par un courant, enflamme le mélange s'il est combustible; on ouvre le robinet avec précaution, l'eau rentre peu à peu dans la cloche; on mesure le volume restant et on le retranche du volume primitif. Je citerai comme exemple l'analyse suivante de l'hydrogène dégagé par un appareil de Kipp :

On fait passer dans la cloche à gaz $20^{cm^3},4$ d'hydrogène :

On ajoute de l'air et on obtient un volume égal à	$100^{cm^3},2$
Agitation vive, passage du courant, le fil porté au rouge enflamme le mélange, il reste	70
Réduction	$30^{cm^3},2$

dont $\frac{1}{3}$, 10,066, pour l'oxygène employé et $\frac{2}{3}$, 20,133, pour l'hydrogène trouvé.

CHAPITRE IV

—

GAZOMÈTRES

Gazomètre du Dr de Saint-Martin. — Afin de pouvoir préparer des mélanges titrés exactement d'air et d'oxyde de carbone qui ont été employés dans les recherches nombreuses que j'ai faites sur l'absorption des gaz par le sang, j'ai fait fabriquer par M. Lequeux, successeur de Wiesnegg, un grand gazomètre de laiton tout à fait semblable à celui qu'emploie le Dr de Saint-Martin, et qui présente seulement quelques légères modifications : cet instrument (*fig.* 9) est formé d'une cloche cylindrique de laiton ayant 70 centimètres de diamètre sur 50 centimètres de hauteur dont la contenance calculée géométriquement $\frac{\pi d^2}{4} \times h = 192^l,4$;

généralement je n'emploie que 150 litres de gaz ou un volume moindre.

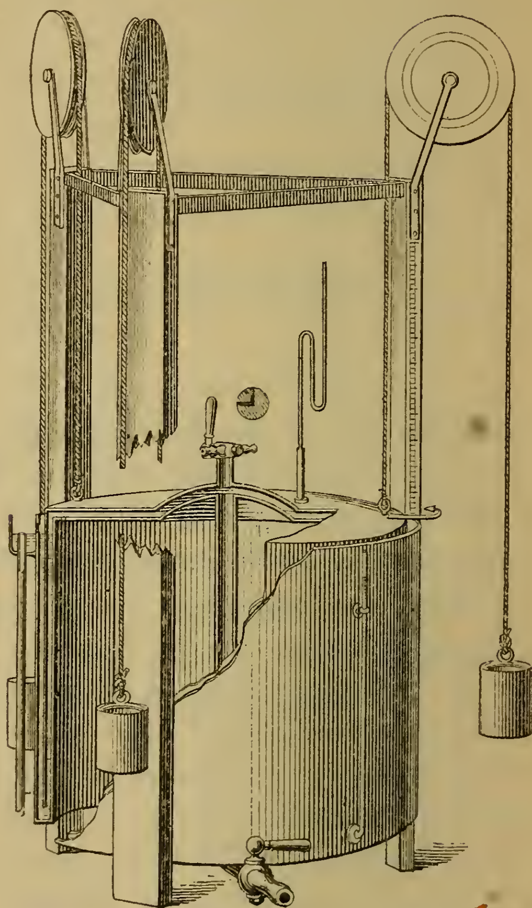


Fig. 9
Gazomètre métallique du Dr de Saint-Martin. Elévation et coupe.

Ce qui caractérise cet instrument et ce qui le

rend supérieur à tout autre gazomètre à eau, c'est la forme de la cuve très étroite dans laquelle s'engage la cloche; en effet, l'intervalle qui contient l'eau n'a que deux centimètres d'épaisseur, il est formé par un cylindre creux à surface supérieure circulaire et par une surface cylindrique un peu plus large soudée à la partie inférieure du premier cylindre; il faut remplir d'eau l'intervalle annulaire et conserver un niveau d'eau constant indiqué par un tube de verre extérieur; pour cela, on fait arriver un faible courant d'eau dans une petite cuve ayant 50 centimètres de long, 3 centimètres de large et 5 centimètres de profondeur qui a été soudée à la partie supérieure du cylindre extérieur; la paroi de ce cylindre a été percée de plusieurs trous circulaires dont les centres se trouvent sur une ligne horizontale et dans le plan horizontal passant par cette ligne s'ouvre un tube vertical de laiton servant de trop-plein; on obtient par cette disposition un niveau absolument constant.

Pour soulever la cloche métallique, on a fixé aux sommets d'un triangle équilatéral qui serait inscrit dans le cercle supérieur de cette cloche trois anneaux auxquels on attache des cordes qui vont se fixer sur des poulies de bois

supportées par trois montants de bois verticaux et par des pièces métalliques ; d'autres cordes se terminent par des cylindres de laiton dans lesquels on a fait couler du plomb fondu en quantité telle que la cloche vide est équilibrée par ces contre-poids. J'ai fait fixer sur les poulies de bois des excentriques de laiton creusées sur leur pourtour d'une gorge dans laquelle s'enroule la corde qui soutient les poids ; par cette disposition, à mesure que la cloche du gazomètre sort de l'eau et devient plus lourde, le contrepoids agit sur un bras de levier plus grand.

Il est utile d'employer pour les diverses manœuvres des disques de plomb au nombre de trente dont chacun pèse 200 grammes, et que l'on introduit dans les trois cylindres de laiton pour soulever la cloche, et diminuer la pression dans l'intérieur, que l'on retire pour les placer sur le fond supérieur de la cloche pour augmenter la pression.

Il me reste à indiquer comment on introduit les gaz et comment on les mesure : un large tube de laiton ayant quatre centimètres de diamètre dont l'ouverture inférieure se trouve au-dessous du gazomètre se termine au dehors par un large robinet à trois voies muni d'une manette de bois : ce tube d'abord horizontal se recourbe

et devient vertical pour aller se terminer au centre d'une calotte sphérique [1] qui a été soudée au centre du cylindre intérieur ; la cloche de laiton présente une calotte sphérique, toute semblable et de mêmes dimensions, qui est surmontée d'un tuyau en forme de T portant un robinet angulaire gardant parfaitement ; le noyau de ce robinet est traversé par un canal à angle droit, de sorte que, si le robinet est fermé, la moitié du contour de ce noyau est tournée du côté de la cloche.

En outre, une tubulure soudée sur la paroi horizontale de la cloche est traversée par un bouchon et par un tube recourbé contenant de l'eau qui sert de manomètre.

J'ai eu le soin d'employer pour introduire le gaz dans la cloche un tuyau très large ayant 4 centimètres de diamètre qui n'offre aucune résistance au passage de l'air expiré par l'homme ou par un animal, car ce gazomètre est très utile dans les recherches sur la respiration.

Jaugeage de l'instrument. — J'ai fait souder sur la base de la cloche une flèche de laiton

---

[1] Cette disposition s'oppose à la pénétration de l'eau dans les conduits.

recourbée dont l'extrémité vient se placer sur une règle de laiton fixée sur l'un des montants de bois verticaux.

Pour jauger le gazomètre, je me suis servi d'un manchon cylindrique de verre terminé par deux tubes de verre qui portent des traits entre lesquels le volume d'air compris est égal à 5 litres : on fixe à la partie supérieure un robinet métallique à trois voies, on remplit le manchon d'air, on l'immerge dans une cuve à eau et, en ouvrant convenablement le robinet, on fait passer le gaz dans la cloche par un tube de caoutchouc fixé au robinet supérieur; il faut avoir soin avant d'inscrire sur la règle les points qui correspondent à la position de la flèche pour 5 litres, 10 litres, 15 litres, etc., de disposer horizontalement la surface supérieure de la cloche; pour y arriver exactement j'ai fait construire par M. Noé un triple niveau des maçons ayant la forme d'un prisme droit dont les bases sont des triangles équilatéraux. Trois fils à plomb suspendus donnent des verticales qui coïncident avec trois traits marqués sur des lames transversales de verre dépoli lorsque les pieds reposent sur une surface horizontale : si la surface supérieure de la cloche est inclinée, on peut se tromper faci-

lement d'un ou de deux litres dans la mesure du volume des gaz.

Soupapes hydrauliques de faible résistance. — Pour faire respirer un homme ou un animal à travers des soupapes qui permettent l'inspiration et l'expiration sans apporter de résistance sensible, j'ai pris deux bocaux cylindriques de verre de 10 centimètres de diamètre et de 16 centimètres de hauteur qui ont été fermés par deux

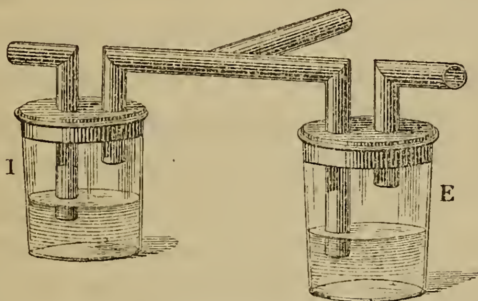


Fig. 10. — Soupapes hydrauliques servant : l'une I, à l'inspiration, l'autre E, à l'expiration.

larges bouchons de liège percés chacun de trous pour laisser passer des tubes métalliques ayant 25 millimètres de diamètre. La *fig.* 10 représente la forme et la disposition de ces tubes, la soupape I sert à l'inspiration, la soupape E à l'expiration. Il faut faire plonger les tubes qui conduisent l'air inspiré de 5 millimètres environ dans l'eau.

Les bouchons de liège enfoncés dans les bocaux

sont recouverts d'une couche de plâtre qui assure une bonne fermeture.

Si l'on veut faire respirer à un animal un mélange titré, on réunit par un large tube de caoutchouc le tube servant à l'inspiration avec le gros robinet du gazomètre contenant le mélange.

On adapte sur la tête de l'animal une muselière de caoutchouc fixée derrière l'occiput et mise en contact parfait avec le museau à l'aide d'un large lien de toile noué sous la mâchoire inférieure et ensuite derrière l'occiput ; l'extrémité libre de la muselière est fixée sur le tube horizontal soudé perpendiculairement au tube qui réunit les deux bocaux. Si l'on veut faire respirer à un animal l'air pris en dehors du laboratoire, par un tube de caoutchouc, on adapte ce tube à la soupape d'inspiration et on réunit la soupape d'expiration au gazomètre si l'on veut recueillir l'air expiré.

Grand gazomètre. — J'ai eu besoin d'un autre gazomètre de zinc de grandes dimensions pouvant contenir 600 litres de gaz.

Le mélange titré préparé dans le gazomètre du Dr de Saint-Martin est envoyé dans ce grand gazomètre qui sert à le conserver.

On peut aussi remplir le gazomètre d'oxygène ou d'un mélange d'acide carbonique, d'air et d'oxygène pouvant produire l'anesthésie.

Préparation d'un mélange titré d'air et d'oxyde de carbone. — Il faut d'abord analyser l'oxyde de carbone qui a été préparé par l'action de l'acide sulfurique sur l'acide oxalique : on sait qu'il se produit des volumes égaux d'oxyde de carbone et d'acide carbonique ; ce dernier gaz est absorbé par la potasse renfermée dans un flacon à trois tubulures ou contenue dans un barboteur de Cloez ; l'absorption de ce gaz n'est presque jamais complète, aussi il faut, dans le flacon qui a reçu le gaz, introduire un morceau de potasse avec un peu d'eau, fermer le flacon et agiter vivement, pour qu'il ne reste pas la moindre trace d'acide carbonique. Il est nécessaire de doser ensuite l'oxyde de carbone pur contenu dans le flacon ; j'emploie un entonnoir à gaz, tenu par un fil de laiton (*fig.* 17, p. 158) et une cloche graduée de 50^{cm^3}, divisée en dixièmes. En tenant le flacon avec une longue pince de fer à creusets, pour éviter l'immersion des mains dans l'eau froide, je transvase du gaz dans la cloche graduée ; la mesure du volume se fait après avoir plongé pendant quelques ins-

tants dans un bocal plein d'eau la cloche tenue avec une pince de bois ; j'introduis un petit tube à essai rempli d'une solution de protochlorure de cuivre dans l'acide chlorhydrique; ce réactif se prépare d'une manière très simple : dans un flacon plein de tournure de cuivre, on verse une dissolution de bichlorure de cuivre dans un grand excès d'acide chlorhydrique.

Il faut renouveler le réactif et agiter vivement la cloche fermée par un bouchon de caoutchouc.

Volume de gaz	$28^{cm^3},9$
Cu^2Cl	3
	$25^{cm^3},9$

Nous cherchons quel est le volume x du gaz contenu dans le flacon qui renferme exactement 1^{cm^3} d'oxyde de carbone pur :

$$\frac{28,9}{25,9} = \frac{x}{1}; \; x = 1,116$$

Le nombre 1,116 est le coefficient de correction par lequel il faut multiplier le nombre de centimètres cubes d'oxyde de carbone pur dont on a besoin pour trouver le volume du gaz qu'il faut prendre dans le flacon.

Exemple : Veut-on préparer un mélange titré de 600 litres contenant $\frac{1}{2\,500}$ d'oxyde de carbone? On divise 600 par 2 500 ce qui donne $0^{l},240$ ou 240 centimètres cubes; multiplions ce nombre par 1,116, nous obtenons $267^{cm^3},8$; c'est ce volume qu'il faut transvaser du flacon dans une cloche graduée de 300 centimètres cubes.

On introduit successivement dans le gazomètre du Dr de Saint-Martin les volumes : 125 litres, 125 litres, 100 litres $+ 267^{cm^3},8$ CO (ce gaz étant contenu dans une petite cloche tubulée à robinet unie au robinet supérieur du gazomètre) 125 litres et 125 litres, ce qui fait 600 litres : le gaz est envoyé successivement dans le grand gazomètre de zinc. On verra plus loin quels ont été les résultats que j'ai obtenus en faisant respirer à des animaux des mélanges titrés d'air et d'oxyde de carbone ainsi préparés.

CHAPITRE V

DOSAGE DES GAZ PAR L'OXYDE DE CUIVRE

Appareil à oxyde de cuivre servant à doser des traces de gaz combustible. — Je vais décrire un appareil qui m'a déjà rendu autrefois de grands services, car il m'a permis de reconnaître que l'oxyde de carbone après un empoisonnement partiel est éliminé en nature ; l'air expiré par un animal qui a respiré de l'oxyde de carbone et qui a fixé ce gaz dans le sang, contient de l'oxyde de carbone, et je ne puis pas admettre la combustion de ce gaz dans l'organisme, tous les résultats de mes recherches sont contraires à cette opinion (consulter le livre intitulé : *Les poisons de l'air*, J-B. Baillère, éditeur) ; l'oxyde de carbone sort du sang par la voie pulmonaire, mais

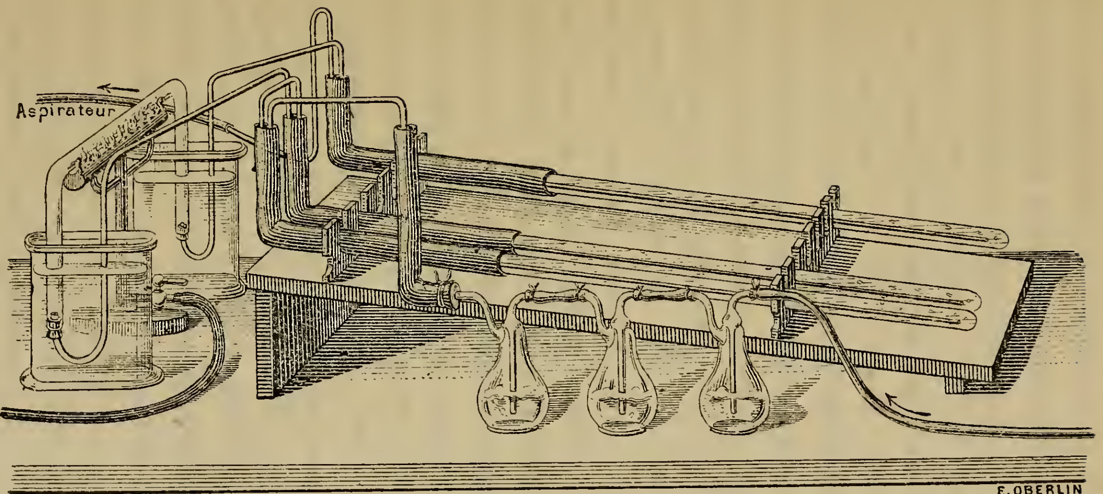


Fig. 11. — Dosage d'un gaz contenant du carbone par l'oxyde de cuivre chauffé au rouge. (Fermetures hydrauliques).

en général plus lentement qu'il n'a été absorbé, de sorte que l'élimination chez un chien dont le sang a été à moitié oxycarboné dure environ 5 à 6 heures, à une condition c'est qu'on fasse respirer à l'animal de l'air absolument pur qui ne contienne pas d'oxyde de carbone, dont la présence retarderait l'élimination ou l'arrêterait complètement. Pour établir un appareil à combustion qui offre une garantie absolue, j'adopte, comme je le fais toujours, les fermetures hydrauliques : le tube en verre de Bohême est recourbé d'abord à angle droit à une extrémité ; le chalumeau à gaz est alimenté d'air à l'aide de la trompe soufflante de Francis Gréhant ; on le remplit de tournure de cuivre grillé, puis on le recourbe à angle droit à l'autre extrémité ; deux bouchons de caoutchouc percés d'un trou, traversés par des tubes de verre recourbés comme l'indique la *fig.* 11, ferment le tube à combustion dont les extrémités plongent dans deux bocaux de forme aplatie pleins d'eau ; le tube est placé sur un chauffe-tubes de M. Ditte ; on chauffe d'abord lentement et on maintient le gaz allumé le jour et la nuit pendant toute la durée du dosage qui est très longue, lorsqu'il faut faire passer lentement 200 litres de gaz sur l'oxyde de cuivre chauffé au rouge : ce gaz doit

être complètement privé d'acide carbonique ; s'il renferme un gaz combustible contenant du carbone, soit de l'oxyde de carbone, soit du formène (hydrogène protocarboné), l'oxyde de cuivre le brûle et fournit de l'acide carbonique qui précipite la baryte.

Pour absorber l'acide carbonique contenu dans le gaz qui doit traverser le tube à combustion et qui est pris, soit au dehors, soit dans le gazomètre du Dr de Saint-Martin, j'emploie la potasse barytée et l'eau de baryte : je dissous 100 grammes de potasse à la chaux dans 500 centimètres cubes d'eau de baryte, il se produit un précipité abondant de carbonate de baryte, la potasse étant toujours plus ou moins carbonatée, je filtre sur du papier et j'obtiens une solution très claire qui contient un excès de baryte car elle précipite par l'acide sulfurique : cette solution absorbe beaucoup plus d'acide carbonique que la baryte; en effet, 1 centimètre cube de cette potasse barytée absorbe 40 centimètres cubes d'acide carbonique : 100 centimètres cubes absorberaient 4 litres de ce gaz. J'introduis ce liquide alcalin dans trois barboteurs de Cloez dont les tubes sont soudés à une ampoule de verre à fond plat ; puis le gaz est conduit dans deux tubes longs de 70 centimètres, et ayant 25 millimètres de diamètre qui

renferment de l'eau de baryte plusieurs fois filtrée qui doit être parfaitement claire ; ces tubes sont légèrement inclinés sur l'horizon et maintenus sur une planche garnie de supports convenables ; chaque tube est fermé par un bouchon de caoutchouc à deux trous, qui sont traversés par des tubes de verre ; l'un est uni par un tube de caoutchouc au-dessous du bouchon avec un long tube de verre droit qui pénètre jusqu'à la partie inférieure de la solution de baryte, l'autre communique avec le second tube ; à la partie supérieure du tube absorbant, je fixe avec un lien un manchon de caoutchouc qui enveloppe non seulement le bouchon, mais les tubes et tous les points par lesquels l'air extérieur pourrait pénétrer ; les manchons sont remplis d'eau distillée ; ces deux tubes à baryte sont des témoins, ils doivent toujours rester clairs ; ils précèdent le tube à combustion ; deux autres tubes à baryte, tout semblables, sont fixés à la suite du tube à combustion, le premier seul se trouble si le gaz qui traverse l'appareil contient une trace de gaz combustible.

Trompe et régulateur d'aspiration. — Pour aspirer les gaz et les faire passer avec une certaine lenteur à travers tout l'appareil, le tube

à combustion étant chauffé au gaz, on fait écouler de l'eau par une petite trompe hydraulique de Golaz qui fait un vide partiel dans un flacon de 2 litres plein d'air fermé par un bouchon de caoutchouc à trois trous : le réservoir à vide communique avec un régulateur d'aspiration à mercure qu'il est très facile d'installer : on remplit à moitié une éprouvette à pied de mercure et on ferme l'ouverture avec un bouchon à deux trous, traversés l'un par un tube courbé à angle droit uni au flacon, l'autre traversé par un long tube droit qui est immergé dans le mercure à une profondeur de 5 à 10 centimètres ; le réservoir à vide communique enfin par un troisième tube avec un tube de caoutchouc épais qui se rend au dernier tube absorbant à baryte et qui est comprimé d'abord avec une pince de Mohr.

On fait marcher la trompe qui fait dégager dans une cuve à eau l'air aspiré ; l'air rentre constamment bulle à bulle à travers le mercure, la diminution de pression produite dans le flacon est toujours la même ; on ouvre peu à peu par un mouvement de vis le tube de caoutchouc à parois épaisses élastiques, le barbotage s'établit dans tout l'appareil, les bulles se succèdent sans interruption, mais avec une certaine lenteur, car si l'on faisait passer à travers la tournure de

cuivre chauffée au rouge sombre un courant d'air trop rapide, la température du métal serait abaissée, et une portion ou la totalité du gaz combustible que peut contenir le mélange soumis à l'analyse pourrait échapper à la combustion.

Essai de l'appareil. — J'ai reconnu depuis longtemps l'erreur que l'on commettrait, si avant d'employer l'oxyde de cuivre chauffé au rouge, on n'avait pas le soin de faire passer, pendant 24 heures au moins, de l'air pris en dehors du Laboratoire (l'air du Laboratoire peut contenir des traces de gaz d'éclairage), on brûle ainsi toutes les matières organiques et on décompose les carbonates qui peuvent être mélangés avec l'oxyde de cuivre ; ce n'est qu'après ce laps de temps que l'air extérieur privé d'acide carbonique et conduit dans l'eau de baryte après le tube à combustion, laisse la solution tout à fait limpide. Il existe bien, comme l'a signalé l'illustre Boussingault, dans l'air atmosphérique, une trace de gaz contenant du carbone que MM. Muntz et Aubin ont dosé avec beaucoup d'exactitude et qu'ils évaluent à la centième partie du volume de l'acide carbonique contenu dans l'air (*Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, 1884, T. XCIX, p. 871.

Mais ce gaz combustible de l'air est en si petite quantité, 3 millionièmes, qu'ayant aspiré dans le gazomètre 159 litres d'air extérieur et ayant fait circuler ce gaz dans l'appareil pendant 48 heures, je n'ai pas observé le moindre trouble de la baryte dans le dernier tube ; il aurait fallu faire passer un mètre cube d'air pour déceler ce gaz combustible qui ne peut nullement expliquer la présence d'un gaz combustible dans le sang.

Pour démontrer l'exactitude du procédé de dosage par l'oxyde de cuivre et par la baryte, j'introduis dans le gazomètre 34 litres d'air et $3^{cm^3},4$ d'oxyde de carbone pur et j'aspire lentement ce mélange à $\frac{1}{10\,000}$ que je fais passer sur l'oxyde de cuivre ; en quatre heures et demie, 14 litres de gaz ont circulé et ont produit un anneau très distinct de carbonate de baryte dans le tube central plongé dans l'eau de baryte ; en traitant dans le vide par l'acide chlorhydrique ce tube et la baryte, j'ai obtenu $1^{cm^3},4$ d'acide carbonique correspondant à $1^{cm^3},4$ d'oxyde de carbone ; mais sur 34 litres de gaz je n'ai fait circuler que 14, j'aurais trouvé pour le volume total (34 litres) $\frac{34}{13} \times 1,4$ ce qui donne $3^{cm^3},4$, exactement le volume d'oxyde de carbone qui a été mé-

langé avec l'air. Ainsi le procédé par l'oxyde de cuivre présente la plus grande exactitude, il permet de reconnaître les moindres traces d'un gaz contenant du carbone, à la condition que ce gaz ne soit absorbé ni par la potasse barytée ni par l'eau de baryte.

CHAPITRE VI

—

DOSAGE DE L'ACIDE CARBONIQUE

Dosage de l'acide carbonique dans l'air pris en dehors du laboratoire. — Il m'a suffi de prendre deux tubes à eau de baryte claire munis de fermetures hydrauliques que j'ai fait traverser par l'air pris en dehors du laboratoire par un tube de verre dont l'extrémité se trouvait à 65 centimètres au-dessus du sol et à 90 centimètres de la cloison vitrée du laboratoire. L'aspiration était faite bulle à bulle par une petite trompe de Golaz, et tout le gaz aspiré introduit dans une cloche tubulée à l'aide d'un ajutage recourbé fixé à la partie inférieure de la

trompe, était conduit et mesuré dans la grande cloche de mon gazomètre de laiton ; le barbotage a duré 24 heures, et 55 litres d'air ont traversé l'appareil.

Le premier tube à baryte, seul, a présenté un précipité abondant ; le second tube est resté absolument limpide.

On détache le premier tube, on immerge le tube central qui servait à l'entrée de l'air et qui présente un anneau de carbonate de baryte, et on réunit par un manchon de caoutchouc épais, l'ouverture du tube absorbant à un autre tube de même diamètre et d'une longueur égale à un mètre, fixé au tuyau d'aspiration de la pompe à mercure.

On fait à la trompe un vide approché et on introduit par le robinet, à l'aide d'un entonnoir cylindrique effilé, 25 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur étendu et qui a été soumis à l'ébullition ; on fait passer un peu de mercure de la pompe pour chasser la portion de liquide qui remplit le tuyau d'aspiration ; on soulève les deux tubes pour agiter l'acide et le faire pénétrer au contact du carbonate de baryte qui est décomposé : tout le liquide s'éclaircit, un morceau de papier de tournesol bleu, introduit d'abord, passe au rouge et indique que le milieu

est acide; on immerge dans l'eau bouillante l'extrémité fermée du récipient, on fait manœuvrer la pompe et on fait passer dans une cloche de 50 centimètres cubes, divisée en dixièmes pleine de mercure, le gaz extrait, en évitant de faire pénétrer, dans la chambre barométrique, le liquide qui bout et qui a une grande tendance à s'y précipiter : ce liquide, introduit dans la cloche à gaz, pourrait absorber de nouveau de l'acide carbonique avant la mesure du volume obtenu; l'expérience a donné :

$$\begin{array}{l} 21^{cm^3},6 \text{ gaz} \\ \underline{4,3} \text{ KOHO} \\ 17^{cm^3},3 \end{array}$$

$17^{cm^3},3$ d'acide carbonique avaient été absorbés par la baryte; ce gaz a été mesuré à la température 20° de la cuve à mercure profonde, saturé de vapeur d'eau, la pression atmosphérique mesurée au baromètre de Fortin, gradué sur verre était 752 millimètres; cherchons ce que devient ce volume de gaz supposé sec à 0° et à la pression de 760 millimètres. En multipliant le nombre 17,3 par le coefficient de correction, qui est égal à 0,897, on obtient 15,5; on voit que la correction est importante.

55 litres d'air ont donné 15,5 d'acide carbonique sec à 0, et à la pression de 760 millimètres.

quelle est la proportion de ce gaz en dix millièmes ?

$$\frac{55\,000}{15{,}5} = \frac{10\,000}{x} \quad x = 2{,}8$$

Je trouve 2,8 CO^2 pour 10 000, pas tout à fait trois dix millièmes. Dans une seconde mesure j'ai remplacé l'eau de baryte par la potasse barytée préparée comme je l'ai indiqué précédemment.

J'ai fait passer 97 litres 5 d'air et j'ai décomposé dans le vide la potasse barytée qui a donné $31^{cm^3}{,}3$ de gaz acide carbonique mesurés à 17° et à la pression de 762 millimètres, le coefficient de correction était égal 0,923 et le volume corrigé d'acide carbonique est devenu $28^{cm^3}{,}9$, ce qui faisait exactement 3 pour 10 000. Les résultats que j'ai trouvés sont presque identiques à ceux que MM. Muntz et Aubin ont obtenus avant moi par un procédé tout à fait semblable à celui que j'ai employé ; en effet, ces expérimentateurs indiquent dans l'air des proportions d'acide carbonique qui ont varié par des temps couverts, entre 3,22 et 4,22 ; par des temps clairs, entre 2,89 et 3,1.

Composition de l'air du sol. — A l'exemple de Boussingault, j'ai cherché combien l'air con-

tenu dans le sol renferme d'acide carbonique? J'ai fait creuser dans le jardin du laboratoire un trou cylindrique de 4 à 5 centimètres de diamètre avec une tige de fer creuse dans laquelle pénétrait la terre, puis j'ai fait enfoncer un tube de cuivre de 2 mètres de long et de 25 millimètres de diamètre, qui portait près de son extrémité un bouchon de caoutchouc de même diamètre que le trou ; on a fait couler du plâtre liquide dans l'intervalle annulaire pour sceller le tube dont l'extrémité se trouvait dans le sol à 1^{m},50 au-dessous de la surface ; l'extrémité supérieure du tube métallique a été fermée avec un bouchon de caoutchouc traversé par un

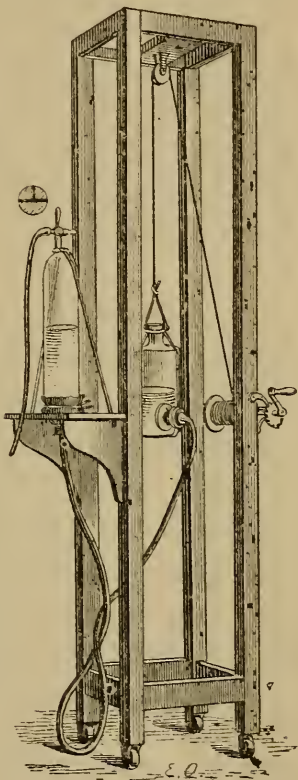


Fig. 12. — Aspirateur gradué muni d'un robinet à 3 voies.

tube de verre, on a conduit le gaz dans un long tube à baryte et on a remarqué que le gaz aspiré par un aspirateur gradué troublait rapidement

la baryte ; il est nécessaire, pour remplir le tube de cuivre de l'air du sol, de faire fonctionner plusieurs fois l'aspirateur, sans faire passer le gaz dans le tube absorbant.

L'aspirateur gradué représenté par la *fig.* 12, se compose d'une cloche verticale ayant 50 centimètres de hauteur et 9 centimètres de large, fermée à la partie supérieure par un robinet ; la base de la cloche est fermée par un large bouchon de caoutchouc traversé par un tube de verre qui est uni par un long tube de caoutchouc à la tubulure inférieure d'un bocal de verre tenu par une corde qui s'enroule sur une poulie, puis sur un treuil à cliquet.

La cloche contient deux litres, elle est divisée en dizaines de centimètres cubes.

On a recueilli 750 centimètres cubes d'air dans l'aspirateur et la décomposition du carbonate de baryte a donné $5^{cm^3},9$ d'acide carbonique saturé d'humidité à 17° et sous la pression de 762^{mm} ; le volume de ce gaz corrigé devient 5,4, écrivons la proportion $\frac{755,4}{5,4} = \frac{10\,000}{x}$ $x = 71,5$; nous voyons que le rapport de l'acide carbonique contenu dans le sol à celui du même gaz dans l'air est égal à $\frac{71,5}{3}$ ou à 23,8.

Il y a environ 24 fois plus d'acide carbonique

dans l'air que renferme le sol que dans l'air atmosphérique. On s'explique par là facilement la grande quantité d'acide carbonique que l'eau dissout en traversant les diverses couches du sol, et qu'elle rend aux racines qui l'absorbent, à la sève et jusque dans les feuilles qui renferment, comme je l'ai démontré avec M. Peyrou, de grands volumes d'acide carbonique que la chlorophylle décompose sous l'influence de la lumière solaire.

Détermination du poids d'acide carbonique exhalé par les poumons. — Le dosage de l'acide carbonique exhalé par les poumons de l'homme ou d'un animal est une donnée physiologique de la plus grande importance, car il permet de se rendre compte de l'ensemble des phénomènes qui, dans l'organisme, engendrent l'acide carbonique et aussi de l'état d'intégrité des poumons qui sont chargés d'éliminer ce gaz ; aussi, j'ai simplifié le procédé de dosage que, le D[r] Quinquaud et moi, nous avons employé tant de fois, et j'ai réussi à le rendre plus sûr par l'emploi de la potasse barytée ; le seul examen des barboteurs montre s'ils ont été suffisants ou insuffisants pour absorber tout l'acide carbonique exhalé.

Pour recueillir l'air expiré par un homme, j'emploie les deux soupapes hydrauliques à larges tubes, offrant une faible résistance, qui ont été décrites plus haut : à l'aide d'un tube de caoutchouc et d'un embout de bois dont la forme s'adapte à l'ouverture des lèvres, les fosses nasales étant fermées par deux doigts de la main gauche, je fais respirer à travers les soupapes l'homme assis devant le gazomètre dans lequel je fais maintenir une pression égale à la pression atmosphérique (égalité de niveau de l'eau dans les branches du manomètre) : il faut recommander à la personne qui respire de conserver le rhythme ordinaire de la respiration ; mais il est fort difficile, je dirai presque impossible, d'obtenir ce résultat : les mouvements respiratoires deviennent presque toujours plus fréquents et plus amples, la ventilation pulmonaire est plus active, l'acide carbonique est exhalé en plus grande quantité qu'à l'état normal : il est bon de compter le nombre des respirations et le volume de gaz introduit dans le gazomètre en un certain temps.

Quand on a recueilli de 50 à 100 litres d'air expiré, il faut attendre au moins un quart d'heure le refroidissement des gaz par le contact du milieu ambiant, un thermomètre fixé dans

la tubulure et plongé dans le gaz indique bientôt une température peu différente de celle de l'air extérieur ; les parois métalliques de laiton conduisent bien la chaleur. D'autre part, on a disposé la trompe avec le régulateur d'aspiration et quatre barboteurs de Cloez à fond plat. Les trois premiers reçoivent chacun 200 centimètres cubes de potasse barytée, qui peuvent absorber chacun 4 litres d'acide carbonique, le quatrième barboteur reçoit de l'eau distillée. Les gaz contenus dans la cloche métallique sont saturés de vapeur d'eau à la température qu'ils possèdent, en traversant les trois premiers barboteurs à potasse barytée, ils peuvent abandonner un peu d'eau, mais ils la reprennent en traversant l'eau distillée.

On pèse à la fois dans une grande balance de Deleuil les quatre barboteurs réunis par des tubes de caoutchouc noir liés sur le verre, fermés par deux bouchons ; on fait passer assez rapidement l'air expiré, après avoir mesuré exactement son premier volume, à travers les solutions alcalines ; en général, les deux premiers barboteurs seuls se troublent et offrent des anneaux de carbonate de baryte, le troisième reste tout à fait clair ; on est donc sûr que l'acide carbonique a été absorbé complètement par les deux premiers barboteurs.

Une deuxième pesée fait connaître le poids d'acide carbonique qui était contenu dans le volume d'air expiré qui, du gazomètre, a circulé dans l'appareil absorbant.

Dosage de l'acide carbonique exhalé par un jeune homme âgé de 20 ans. — Le gazomètre ayant été rempli d'air extérieur, puis vidé, afin que l'espace nuisible soit rempli d'air pur, on ajoute aux contre-poids des disques de plomb en quantité telle que le manomètre à eau montre l'égalité des niveaux, ou une pression intérieure égale à la pression atmosphérique. Sur une table voisine du gazomètre, on place à une hauteur convenable les deux soupapes hydrauliques à voies larges avec un tube de caoutchouc et un embout de bois qui est introduit entre les lèvres de l'homme soumis à l'expérience, qui est assis devant la table : l'ouverture des fosses nasales étant comprimée entre les doigts, on fait respirer à travers les soupapes et dans l'air par le robinet à trois voies du gazomètre, en recommandant la conservation du rhythme normal des mouvements respiratoires : on tourne au commencement d'une minute, en regardant une montre à secondes, le robinet du gazomètre et on recueille dans la cloche l'air

expiré pendant deux minutes seulement : un thermomètre de précision divisé en degrés et dixièmes de degré, indique bientôt pour l'air expiré la même température que celle du milieu ambiant, j'ai trouvé 20°,3 ; l'air expiré se refroidit en traversant la soupape d'inspiration, et il prend rapidement au contact du laiton la température de l'air extérieur.

Il faut ensuite doser l'acide carbonique exhalé contenu dans un volume d'air expiré, mesuré exactement ; on se sert avantageusement de l'aspirateur gradué que j'ai décrit, en ayant soin de faire passer d'abord deux litres d'air du gazomètre dans le long tube qui doit conduire les gaz à travers les barboteurs, ce volume mesuré dans l'aspirateur est rejeté au dehors, puis on fait aussitôt circuler les gaz dans les barboteurs, dont trois contiennent chacun 200 centimètres cubes de potasse barytée, tandis que le dernier renferme de l'eau distillée. Il a fallu une heure environ pour faire circuler $10^{l},45$ de gaz ; le premier barboteur contenait un précipité abondant et un liquide tout à fait trouble, le second a présenté un anneau dans le tube central avec un liquide clair, le troisième était resté tout à fait clair. L'augmentation de poids des trois barboteurs a été égale à $0^{gr},52$ d'acide carbonique,

le calcul montre que 52 centigrammes correspondent à 296 centimètres cubes d'acide carbonique, volume qu'il faut ajouter à $10^{l},450$ pour avoir 10,749, le véritable volume du gaz qui est arrivé au premier barboteur ; mais si $10^{l},749$ contenaient 52 centigrammes d'acide carbonique, le volume total $42^{l},5$ exhalé en deux minutes, contenait $2^{gr},05$; nous pouvons dire que les poumons ont exhalé à peu près un gramme d'acide carbonique par minute. Au lieu de faire une série d'aspirations partielles dans l'aspirateur gradué, on peut obtenir un résultat exact en mesurant dans le gazomètre le gaz qui a circulé dans les barboteurs et en produisant l'aspiration à l'aide d'une trompe et d'un régulateur de pression, disposition qui a été décrite plus haut.

Pour mesurer exactement les volumes de gaz, on aura soin de placer sur le gazomètre le niveau triple qui sert à vérifier l'horizontalité de la cloche.

CHAPITRE VII

—

EXTRACTION DES GAZ CONTENUS DANS LE PARENCHYME DES FEUILLES

Voici une question dont je me suis occupé d'abord avec l'un de mes élèves M. Peyrou et je vais décrire l'appareil que nous avons employé et indiquer les premiers résultats que nous avons obtenus : Le récipient spécial est formé d'une allonge courbe de la contenance d'un litre environ à laquelle on a soudé à angle obtus un tube ayant une longueur égale à un mètre qui est uni au tube d'aspiration de la pompe à mercure ; un manchon réfrigérant de 50 centimètres de long forme une fermeture hydraulique. Il faut dans ce récipient maintenu par un support à échelons de telle sorte que l'ampoule soit verticale, introduire d'abord de l'eau distillée privée de gaz

par une longue ébullition et refroidie par un courant d'eau froide : pour cela on fait bouillir pendant une demi-heure 3 litres d'eau distillée dans une capsule de porcelaine ou dans une casserole émaillée, et on fait plonger dans le liquide jusqu'au fond un tube de cuivre rouge presque capillaire qui après s'être élevé verticalement pénètre dans un bocal de verre à tubulures, maintenu par un support à plateau, dans lequel il est recourbé en spirale, ce tube vient ensuite sortir par la tubulure supérieure, se recourbe et vient au moyen d'un tube de caoutchouc s'unir au robinet de la pompe à mercure ; il est essentiel de faire circuler, dans le bocal de verre, un courant d'eau qui refroidit complétement l'eau bouillante aspirée par les manœuvres de la pompe à mercure et que l'on envoie dans le tube réfrigérant et dans l'ampoule jusqu'à ce que l'eau se déverse à la partie supérieure de l'ampoule.

Dans ce milieu complètement privé de gaz, nous immergeons cent grammes de feuilles, aussitôt qu'elles ont été détachées ; nous avons le soin avec un agitateur de verre de faire tourner les feuilles dans l'eau pour chasser les gaz qui pourraient adhérer à leur surface ; nous fermons le récipient avec un bouchon de caoutchouc

percé d'un trou par lequel on fait encore échapper de l'eau distillée conservée dans la chambre barométrique, on laisse le robinet de la pompe ouvert en établissant une faible pression de mercure et on enfonce dans le trou du bouchon un bout d'agitateur de verre plein ; il faut alors faire manœuvrer la pompe pour extraire une partie de l'eau, on voit des gaz s'échapper en abondance sur toute la surface des feuilles, par les stomates ; il est bon d'extraire l'eau en quantité telle que l'ampoule soit vidée et qu'il ne reste de liquide que dans le tube de verre ; on retourne le récipient et on immerge l'ampoule, le bouchon se trouvant en bas, dans un bain d'eau maintenu chauffé à 50° par un régulateur de M. Roux, excellent instrument fondé sur la dilatation inégale de deux lames métalliques soudées et qui règle l'admission du gaz de manière à chauffer un bain d'eau à une température rigoureusement constante ; après avoir extrait les gaz à 50° nous avons porté l'allonge dans un récipient dont l'eau était maintenue bouillante et nous avons recueilli à part les gaz obtenus à 100°.

Tableau des résultats. — En examinant ces résultats (p. 80), ce qui frappe surtout l'attention, c'est que les gaz extraits des feuilles à 50°

RÉSULTATS NUMÉRIQUES SUR L'EXTRACTION DES GAZ CONTENUS DANS LE PARENCHYME DES FEUILLES.

État du temps	Nom de la plante	Gaz obtenu à 50°			Proportion d'oxygène dans le mélange d'azote et d'oxygène	Gaz obtenu à 100°		
		CO^2	O	Az		CO^2	O	Az
Temps couvert . . .	Saxifrage orné	6,65	4,6	26,9	14,6 %	10,1	Trace	0,2
Soleil	//	8,5	2,7	27,2	8,9 //	10,9	0	0,3
Soleil	Platane.	3,08	0,16	16,2	1 //	6,6	0	Trace
Soleil	Lilas.	2,01	0,25	23,2	1,1 //	68,4	Trace	0,3
Soleil et nuages. . . .	Nymphœa Alba	2,98	//	60,1	6,2 //	60,4	0	0,3
Temps couvert	Lemna (lentille d'eau) .	1,04	0,9	25,3	3,4 //	10	0	0,1
Soleil	// .	7,6	1,5	21,8	6,6 //	11,2	Trace	0,1
Temps couvert	Potamogeton lucens . .	7,1	0,26	7,1	3,6 //	14,1	—	Trace
Soleil	// . .	9,1	0,8	10,8	6,9 //	19,2	—	0,1
Temps couvert	Spyrogyra quinina, algue	4,1	0,35	6,8	4,9 //	29,4	0	0,5

renferment toujours moins d'oxygène que l'air atmosphérique et contiennent une grande quantité d'acide carbonique.

Sur la respiration de la levûre de grains. — Nous avons fait, Quinquaud et moi, un grand nombre de recherches sur la respiration et sur la fermentation de la levûre de grains et nous avons publié, sur ce sujet, un mémoire qui a paru dans les *Annales des Sciences Naturelles* (*Zoologie*), t. X, 18.

Nous avons reconnu que la levûre renferme des gaz inclus; ainsi 50 grammes de levûre ont donné dans un appareil tout semblable à celui que Gréhant et Peyrou ont employé pour extraire les gaz des feuilles $24^{cm^3},8$ de gaz qui renfermaient $21^{cm^3},4$ d'acide carbonique, $0^{cm^3},1$ d'oxygène (une trace) et $3^{cm^3}3$ d'azote.

En faisant respirer la levûre dans de l'eau en présence d'un excès d'air à des températures différentes qui ont varié depuis 0 jusqu'à 50°, à l'aide d'un appareil qui produisait une agitation constante, nous avons reconnu qu'à une température de 0 à 15°, la quantité d'acide carbonique produit est plus faible que la quantité d'oxygène absorbé; le rapport $\frac{CO^2}{O}$ est plus petit que l'unité, à 0 · nous avons trouvé 0,87.

De 15 à 30°, ce rapport augmente ; à 21° nous avons obtenu 1,5 ; à 30°, 2,4 ; de 30 à 45°, le rapport $\frac{CO^2}{O}$, est égal à 3,2 ; ainsi nous avons démontré ce fait important en physiologie générale : un des effets principaux des hautes températures c'est d'exalter la production de l'acide carbonique. Les fonctions respiratoires de la levûre diminuent d'intensité au-dessus de 50°, le rapport $\frac{CO^2}{O}$ devient inférieur à l'unité.

Dosage de la glycose par fermentation dans le vide. — Pour doser de petites quantités de glycose comme celles que contiennent le sang ou les tissus, on commence par faire un extrait alcoolique, et on redissout dans l'eau le résidu de l'évaporation de cet extrait.

Tous les essais de dosage de glycose par fermentation qui ont été faits avant nous ont été entachés d'erreur ; en effet, le volume d'acide carbonique dégagé par la levûre seule s'ajoute à celui que produit la fermentation et rend le dosage inexact alors même que la fermentation aurait lieu, dans le vide, puisque nos expériences ont démontré que la levûre, en l'absence de l'oxygène, fournit encore de l'acide carbonique.

Voici comment nous opérons : on prend deux

ballons récipients dont le col est fermé avec un bouchon traversé par un robinet métallique enveloppé d'un manchon de caoutchouc, fermeture hydraulique; dans le premier ballon on introduit 2 grammes de levûre de grains délayés dans 35 centimètres cubes d'eau distillée; le récipient est plongé dans un bain d'eau à 40°, on fait le vide avec la trompe et avec la pompe à mercure et dès que le vide est absolu, on ferme le robinet que l'on enveloppe du manchon plein d'eau, on compte le temps pendant lequel la levûre sera maintenue à 40°, trois quarts d'heure, par exemple.

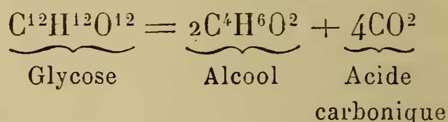
Dans le deuxième ballon, le premier étant séparé de la pompe à mercure, on introduit de la même manière 2 grammes de levûre et 25 centimètres cubes d'eau distillée, on fait le vide à 40° et, à l'aide d'un entonnoir fixé sur le robinet de la pompe, on fait pénétrer dix centimètres cubes d'une solution contenant 5 centigrammes de glycose pure (extraite du miel), on ferme le robinet du récipient, que l'on détache aussi de la pompe et qu'on laisse immergé à 40°.

Au bout de $\frac{3}{4}$ d'heure, on extrait le gaz produit par la levûre seule, on trouve $1^{cm^3},8$ d'acide carbonique. Au bout du même temps, on extrait

ensuite le gaz qui a été produit par la fermentation et par les cellules de levûre, on obtient $12^{cm^3},8$; la différence 11 centimètres cubes correspond à 5 centigrammes de glycose.

Cette manière d'opérer est très simple et très exacte, elle démontre que la fermentation dans le vide se fait aussi complètement que dans l'air.

Bien que la formule classique :



$$\underbrace{C^{12}H^{12}O^{12}}_{\text{Glycose}} = \underbrace{2C^4H^6O^2}_{\text{Alcool}} + \underbrace{4CO^2}_{\text{Acide carbonique}}$$

ne soit pas rigoureusement exacte comme l'ont démontré les belles recherches de M. Pasteur, on peut admettre que 5 centigrammes de glycose pure doivent donner $12^{cm^3},35$ d'acide carbonique ; or, le nombre que nous trouvons, 11 centimètres cubes, se rapproche beaucoup du chiffre théorique obtenu par le calcul.

Nos expériences sur la respiration et sur la fermentation de la levûre de grains ont été longues et laborieuses, elles auraient été moins complètes si nous n'avions été constamment aidés avec beaucoup de zèle et d'activité par Francis Gréhant.

Dosage exact de l'acide carbonique contenu dans les muscles et dans le sang. — (*Archives de Physiologie normale et Pathologique* de Brown-Séquard, Charcot et Vulpian, 1890). Pour déterminer la quantité d'acide carbonique fixée par les tissus chez les animaux laissés à l'état normal ou empoisonnés par l'acide carbonique, Paul Bert s'est servi du procédé suivant (1) : « Un poids déterminé des tissus de l'animal en expérience, était introduit, coupé en petits morceaux, dans un flacon jaugé, d'une capacité environ triple. Le flacon était alors bien rempli avec une solution assez forte de potasse ou de soude caustique ; semblable solution était gardée comme témoin dans un autre flacon bien plein et bien bouché ; je laissais le tout en place pendant vingt-quatre heures, non sans l'agiter assez souvent, et je supposais que, dans ce laps de temps, l'alcali s'était emparé de tout l'acide carbonique, dont pouvaient être imprégnés les tissus. Je prenais alors une certaine quantité de liquide et le faisais pénétrer dans le récipient de la pompe à mercure, où avait été introduite, préalablement et bien épurée de ses gaz, une solution d'acide sulfurique. L'acide carbonique,

(1) Paul Bert. — *La Pression barométrique*, p. 998, Victor Masson, éditeur.

aussitôt déplacé par ce dernier, était aisément extrait et recueilli et un calcul bien simple me permettait de savoir combien 100 grammes de tissus, mis en expérience, contenaient d'acide carbonique. Je ne manquais pas de soumettre au même traitement la solution d'alcali gardée comme témoin, parce qu'elle contenait toujours une certaine quantité d'acide carbonique qu'il fallait naturellement déduire. Cette méthode très simple à laquelle je ne prétends pas attribuer une exactitude de décimales, me paraît devoir donner des résultats très suffisamment voisins de la vérité ».

J'ai tenu à citer textuellement l'exposé du procédé qui a été suivi par le savant physiologiste, car il a servi de base à mes recherches. J'avais besoin de mesurer exactement la quantité d'acide carbonique contenue dans les muscles, et j'ai employé, d'abord, le procédé de Paul Bert; mais j'ai reconnu que, si l'on agit sur 10 grammes de muscles, par exemple, le volume d'acide carbonique fourni par le tissu, est, en général, bien moindre que celui du gaz renfermé dans la solution alcaline, et si l'on fait une erreur dans la mesure de cette dernière quantité, le chiffre de l'acide carbonique contenu dans le tissu devient tout à fait inexact.

J'ai pensé tout d'abord à l'emploi d'une solution de potasse, complètement décarbonatée ; mais il est difficile de préparer une pareille solution, et j'ai fait choix de l'eau de baryte, qui peut être facilement obtenue, tout à fait claire et privée complètement de carbonate.

Voici la technique du procédé qui m'a donné de bons résultats :

Je prends un ballon de verre d'une contenance d'un litre, à parois assez résistantes pour supporter la pression atmosphérique, muni d'un col ayant 3 centimètres de diamètre et un mètre de longueur; ce récipient, que j'emploie constamment pour l'extraction des gaz contenus dans le sang, est lavé d'abord avec de l'acide chlorhydrique étendu, qui enlève toute trace de carbonate ; puis on le remplit d'eau ordinaire, qui est renouvelée trois ou quatre fois ; finalement, on lave avec de l'eau distillée ; dans le ballon, maintenu verticalement par un support, on fait arriver de l'eau de baryte, qui traverse un filtre et un entonnoir. Constamment, l'eau de baryte se trouble, le récipient renfermant une certaine quantité d'acide carbonique ; il faut agiter l'air du ballon avec l'eau de baryte et verser de nouveau celle-ci sur le filtre, jusqu'à ce qu'on obtienne un liquide tout à fait clair ; on remplit

le ballon aux trois quarts et on le ferme avec un bouchon de caoutchouc plein ; il est souvent nécessaire de préparer deux ou trois ballons semblables.

D'autre part, on pèse 10 grammes de muscles de la cuisse d'un animal qui vient d'être sacrifié : chez le chien, je choisis de préférence les muscles couturiers, qui sont longs et minces, et qu'on détache facilement à leurs insertions ; chez le lapin, je prends des muscles de la région antérieure de la cuisse. On introduit le muscle pesé dans le récipient qui est maintenu immergé dans l'eau chauffée jusqu'à l'ébullition ; il faut ordinairement deux heures pour que le muscle soit dissous ; la baryte est troublée par l'acide carbonique du tissu ; il est nécessaire d'obtenir une solution complète avant de doser l'acide carbonique, qui doit être recueilli à l'état de gaz.

Le récipient est uni directement par un bouchon de caoutchouc et par un tube de verre au tuyau d'aspiration d'une pompe à mercure ; avec une trompe hydraulique de Golaz, on fait sur la solution un vide approché, puis on fait pénétrer par un entonnoir effilé, fixé sur le tube de caoutchouc qui surmonte le robinet de la pompe, une solution d'acide chlorhydrique pur

dans l'eau distillée, que l'on a fait bouillir pendant une demi-heure, afin de chasser complètement l'acide carbonique qu'elle renfermait; on fait pénétrer l'acide jusqu'à ce qu'un morceau de papier bleu de tournesol, qui a été tout d'abord introduit dans la baryte devienne rouge; le récipient est immergé dans l'eau bouillante; on recueille par les manœuvres de la pompe dans une cloche graduée en centimètres cubes et en dixièmes de centimètre cube, la totalité des gaz fournis par le liquide et l'air que la trompe avait laissé en petite quantité; la potasse absorbe sur le mercure l'acide carbonique qui a été dégagé.

Il me reste à exposer les premières recherches que j'ai faites avec ce nouveau procédé; j'ai voulu d'abord, par une expérience de contrôle, comparer le volume d'acide carbonique extrait du sang par la méthode ordinaire à l'aide de la pompe à mercure, avec celui que l'on obtient lorsqu'on traite successivement le sang par l'eau de baryte, puis par un acide.

Expérience I. — Après avoir fixé un tube de verre dans l'artère carotide d'un lapin, j'ai aspiré 10 centimètres cubes de sang artériel dont j'ai extrait les gaz par la méthode ordinaire et j'ai obtenu 3^{cm^3},6 d'acide carbonique ou 36 centi-

mètres cubes pour 100 centimètres cubes de sang. J'ai injecté ensuite 10 centimètres cubes du même sang dans un excès d'eau de baryte et j'ai chauffé le récipient au bain-marie à 100° pendant une demi-heure ; j'ai décomposé la solution par l'acide chlorhydrique et j'ai obtenu 3^{cm^3},5 d'acide carbonique ou 35 centimètres cubes pour 100 centimètres cubes de sang, à peu près le même nombre.

On peut se demander quel avantage peut présenter, sur l'extraction directe, ce second procédé. Le voici : dans le cours d'une expérience, il peut être utile de doser la quantité d'acide carbonique contenue dans le sang, où, comme nous le verrons plus tard, on peut se proposer de doser la quantité de cet acide contenue dans un tissu ; on peut alors injecter le sang ou introduire le tissu pesé dans le récipient contenant l'eau de baryte, soumettre le mélange à la température de l'eau bouillante, puis conserver les récipients jusqu'au lendemain et décomposer ensuite par un acide la solution alcaline ; en un mot, l'acide carbonique a été fixé.

Expérience II. — Chez un lapin sacrifié par hémorrhagie, on prend 9^{gr},8 de muscles de la cuisse que l'on fait dissoudre dans l'eau de baryte à 100° ; on décompose la solution et on ob-

tient 3^{cm^3},8 d'acide carbonique, ce qui fait 39^{cm^3} d'acibe carbonique pour 100 grammes de muscles, un peu plus que le volume d'acide 36 centimètres cubes qui a été fourni par 100 centimètres cubes de sang.

Comme l'a écrit Paul Bert : « l'acide carbonique du sang vient des tissus ; à l'état normal, il s'établit un certain équilibre de tension entre la proportion de ce gaz qui demeure dans ces tissus et celle qui reste dans le sang après l'élimination due à une respiration régulière. Si une cause quelconque maintient un excès d'acide carbonique dans le sang, il doit en rester un excès dans les tissus.

L'organisme doit donc s'imprégner tout entier de ce gaz éminemment soluble ».

Expérience III. — Je me suis demandé si la pratique qui consiste à faire respirer à des malades, un mélange contenant 80 $^0/_0$ d'oxygène et 20 $^0/_0$ d'acide carbonique est bien rationnelle au point de vue physiologique et je me suis proposé de doser dans le sang, et dans les tissus, en appliquant mon procédé, l'acide carbonique ainsi introduit dans les poumons.

Chez un chien du poids de 7^{kg},5, j'ai pris dans l'artère carotide, avec une seringue tarée, 20 grammes de sang, qui ont été injectés dans

un premier récipient à baryte. J'avais composé tout d'abord un mélange d'oxygène et d'acide carbonique dans les proportions indiquées, dont le volume total était égal à 300 litres ; j'ai fait respirer le mélange à l'aide d'une muselière de caoutchouc et de soupapes à eau ; en 29 minutes, l'animal a fait circuler 300 litres à travers ses poumons, j'ai injecté dans un second ballon à baryte 21 grammes de sang artériel ; j'ai fait la section du bulbe et j'ai détaché les deux muscles couturiers et une portion du droit antérieur de la cuisse, formant un poids total de $10^{gr},3$: les muscles ont été plongés dans un troisième récipient à baryte et ont été dissous en deux heures à 100°.

J'ai obtenu les résultats suivants :

100 grammes de sang normal renfermaient $37^{cm^3},4$ d'acide carbonique ;

100 grammes de sang partiellement intoxiqué en renfermaient 70 centimètres cubes ;

100 grammes de muscle en renfermaient 72^{cm^3}.

Ainsi 100 grammes de sang contenaient en plus $32^{cm^3},6$ d'acide carbonique, 100 grammes de muscle contenaient en plus $34^{cm^3},6$ d'acide carbonique.

Il est évident que cette accumulation dans le sang et dans les tissus d'un gaz qui doit être éli-

miné par les poumons peut être nuisible et dangereuse, et il parait certain que la mort arrive souvent quand l'acide carbonique s'accumule dans les tissus, les poumons ne pouvant plus remplir ou remplissant mal leur fonction éliminatrice essentielle.

J'ai fait encore une autre expérience pour essayer d'élucider un phénomène que j'ai signalé dans mon livre intitulé : *Les poisons de l'air*, la mort d'un animal qui arrive fréquemment à la suite d'une anesthésie prolongée par l'acide carbonique.

On peut faire respirer à des animaux de l'acide carbonique à forte dose, pour produire l'anesthésie qui a été si bien étudiée par Paul Bert ; j'emploie souvent pour anesthésier les lapins un mélange de 5 volumes d'air, 5 volumes d'acide carbonique et 1 volume d'oxygène, mélange à 45 %, d'acide carbonique, renfermant en outre 18,5 d'oxygène.

Pour composer ce mélange en grande quantité, je me sers maintenant du gazomètre de laiton que j'ai décrit et dans lequel j'introduis à plusieurs reprises 50 litres d'air, 50 litres d'acide carbonique fournis par un appareil de Sainte-Claire Deville et Debray et 10 litres d'oxygène, le gaz est envoyé dans un grand sac de caout-

chouc ; on évite ainsi l'emploi de l'eau qui dissoudrait une certaine quantité d'acide carbonique; le sac de caoutchouc peut contenir 330 litres de mélange.

Expérience IV. — Chez un lapin dont la température était égale à 39°,75, j'ai fait respirer le mélange gazeux à 3 heures et j'ai trouvé à 5 heures la température rectale descendue à 36°. J'ai enlevé la muselière, l'œil était complètement insensible ; l'animal placé sur une table est resté couché sur le flanc, la respiration s'est accélérée et la sensibilité de la cornée était revenue à 5^h2^m

5^h4^m, l'animal relève la tête et la laisse retomber.

5^h6^m, des mouvements convulsifs ont lieu, l'animal crie, la respiration devient agonique, la cornée est de nouveau insensible.

5^h8^m, les mouvements respiratoires sont dyspnéiques et accompagnés de petits cris ; les mouvements péristaltiques de l'intestin apparaissent, les yeux sont saillants.

5^h9^m, arrêt de la respiration, mort.

5^h10^m, les pupilles sont très dilatées.

5^h15^m, on prend dans la veine cave inférieure avec une seringue unie à un trocart à robinet 11 grammes de sang qui est injecté dans un ballon récipient à baryte ; 10 grammes de mus-

cles de la cuisse sont dissous dans l'eau de baryte à 100°.

Les analyses des solutions faites le lendemain ont donné $90^{cm^3},9$ d'acide carbonique pour 100 grammes de sang et 130 centimètres cubes d'acide carbonique pour 100 grammes de muscle.

Ces résultats me paraissent intéressants : quand un animal a respiré longtemps un mélange contenant une forte proportion d'acide carbonique, 45 %, il existe dans les muscles et dans le sang à peu près la même quantité d'acide carbonique, mais, dans la période qui suit une anesthésie prolongée, quand la sensibilité est revenue, je trouve que la proportion d'acide carbonique diminue beaucoup plus vite dans le sang que dans les muscles ; ainsi ce gaz est fixé d'une manière plus solide dans les éléments anatomiques et cette rétention du poison gazeux est sans doute la cause de la mort.

Dosage de l'urée. Procédé de Gréhant. — Mon procédé est fondé sur la propriété que possèdent les vapeurs nitreuses de décomposer l'urée en volumes égaux d'acide carbonique et d'azote ; on recueille à l'aide d'une pompe à mercure la totalité des gaz qui résultent de la décomposition et qui renferment toujours en ou-

tre une certaine quantité de bioxyde d'azote : l'acide carbonique est absorbé par la potasse, le bioxyde d'azote par agitation avec une solution concentrée de sulfate de protoxyde de fer, l'azote reste.

Un centimètre cube d'acide carbonique ou d'azote ramené sec à 0° et à la pression de 760 millimètres, représente 2^{mg},683 d'urée pure.

La préparation de mon réactif qui diffère de celui de Millon se fait à froid ; on verse dans un tube à essai de l'acide nitrique pur et un globule de mercure qui se dissout dans l'acide en donnant du bioxyde d'azote qui est retenu par l'acide et on obtient une liqueur verte très active.

On fait passer par aspiration dans un tube (*fig.* 13) auquel on a soudé un tube plusieurs fois recourbé en forme de M et portant un robinet de verre, la solution d'urée dans l'eau distillée ; après avoir immergé le récipient dans l'eau bouillante, on extrait complétement les gaz du liquide de manière à obtenir le vide absolu, puis on laisse ou on fait refroidir la solution et on introduit le réactif par aspiration ; des gaz se produisent en abondance, on les recueille dans une cloche pleine de mercure.

Ce dont il faut se garder, c'est d'agir sur une trop grande quantité d'urée, car on obtiendrait

de trop grands volumes de gaz qu'il faudrait recueillir dans une série de cloches ; l'analyse deviendrait très laborieuse. L'expérience a montré

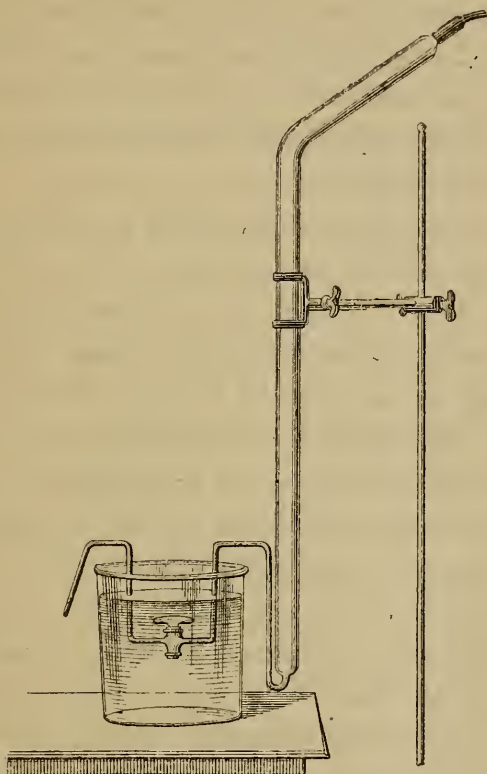


Fig 13. — Appareil de Gréhant servant au dosage de l'urée.

que ces volumes de gaz, acide carbonique ou azote, sont proportionnels aux poids d'urée.

Pour extraire l'urée du sang, 25 centimètres cubes de ce liquide suffisent :

On ajoute 50 centimètres cubes d'alcool et on attend 24 heures que la coagulation soit complète, on soumet à la presse sur un linge et dans mes anciennes expériences je faisais évaporer l'extrait alcoolique directement au bain-Marie, la capsule de porcelaine était placée sur l'eau bouillante : mais maintenant, j'évapore à la température de 40°.

Peu de temps avant sa mort si prématurée, le Dr Quinquaud avait reconnu un fait très important : si l'on évapore dans une capsule de porcelaine une solution alcoolique d'urée provenant du sang ou des tissus, à la température de 100°, avant d'obtenir la dessication complète, une notable proportion d'urée se décompose et fournit du carbonate d'ammoniaque : il en résulte que le dosage par mon procédé donne des chiffres trop faibles.

Expérience. — Pour reproduire la démonstration du fait découvert par Quinquaud, je dissous deux grammes d'urée pure dans 20 centimètres cubes d'eau et je verse la solution dans un ballon récipient qui est uni à la pompe à mercure ; on fait le vide à la trompe et on l'achève par les manœuvres de la pompe, le récipient étant immergé dans l'eau maintenue bouillante.

En maintenant ouvert le robinet de la pompe,

on obtient une distillation du liquide qui vient se condenser dans la chambre barométrique et que l'on recueille dans un entonnoir fixé au-dessus du robinet ; j'ai recueilli dans 8 tubes à essai les produits de la distillation fractionnée, les cinq premiers tubes n'ont donné avec le réactif de Nessler aucune coloration, tandis que les trois derniers ont donné une coloration acajou caractéristique de la présence de l'ammoniaque, mais des précipités peu abondants ; c'est donc à la fin seulement de la distillation que se produit la dissociation de l'urée et sa transformation partielle en carbonate d'ammoniaque.

Lorsque la distillation est terminée, l'urée apparaît à l'état solide sur les parois intérieures du ballon ; j'introduis de nouveau 20 centimètres cubes d'eau distillée dans le récipient et je recommence la distillation, j'obtiens alors 8 échantillons de liquide qui, cette fois, précipitent tous abondamment le réactif de Nessler, la transformation de l'urée en carbonate d'ammoniaque est beaucoup plus active ; en répétant plusieurs fois cette expérience, peut-être obtiendrait-on une transformation complète.

Le réactif de Nessler se prépare d'une manière très simple : on dissout du biiodure de mercure dans une solution d'iodure de potassium ou de

sodium, puis on ajoute une solution de potasse ou de soude, s'il y a une coloration et un précipité,on filtre et on obtient un liquide à peine coloré dans lequel la moindre trace d'ammoniaque produit un précipité jaune brun, couleur acajou.

L'appareil distillatoire qui permet de faire évaporer l'extrait alcolique à 40° ne diffère pas de celui que M. le Professeur Gautier a fait connaître : il se compose d'un ballon à long col immergé dans un bain d'eau maintenu à 40° par un régulateur de M. d'Arsonval ou par un régulateur de M. Roux, d'un tube recourbé recouvert d'un manchon réfrigérant, d'un flacon fermé par un bouchon de caoutchouc dans lequel on fait le vide avec une trompe de Golaz ; il est utile d'envelopper d'eau tous les points qui pourraient permettre la rentrée de l'air extérieur.

L'évaporation étant terminée, on dissout l'extrait dans l'eau distillée et, pour rechercher et doser l'urée, on fait passer cette solution dans l'appareil à réaction que j'ai décrit et c'est après avoir extrait les gaz qui sont dissous dans le liquide que l'on fait pénétrer par aspiration le réactif qui agit d'abord à froid ; l'immersion du tube dans l'eau bouillante permettra ensuite de recueillir par les manœuvres de la pompe la totalité des gaz résultant de la décomposition.

DEUXIÈME PARTIE

APPLICATIONS A L'HYGIÈNE

CHAPITRE PREMIER

ABSORPTION DE L'OXYDE DE CARBONE

Démonstration de l'action toxique de l'oxyde de carbone. Extraction de ce gaz du sang empoisonné. — Pour démontrer dans un cours l'action toxique de l'oxyde de carbone, si l'on emploie un rongeur, un lapin, il faut une forte proportion de gaz toxique ; en effet, j'ai reconnu qu'un mélange d'air et d'oxyde de carbone à 1 $^0/_0$ peut être respiré plus d'une heure par un animal de cette espèce sans produire la mort, tandis qu'un mélange à $\frac{1}{25}$ tue l'animal au bout de 15 minutes environ ; je fais donc préparer dans le gazomètre un mé-

lange de 50 litres d'air et de 2 litres d'oxyde de carbone pur ; un lapin fixé sur une planchette est coiffé avec une muselière de caoutchouc et respire à l'aide de petites soupapes hydrauliques le mélange toxique : l'animal s'agite, au bout d'un quart d'heure il meurt, par arrêt des mouvements respiratoires suivi de l'arrêt du cœur ; j'ouvre l'abdomen, je découvre la veine cave inférieure dans laquelle j'enfonce un trocart à robinet ; à l'aide d'une seringue j'aspire 29 centimètres cubes de sang qui est injecté dans le récipient de la pompe à mercure qui contient 100 centimètres cubes d'acide acétique à 8° Baumé que l'on a eu le soin de priver de gaz par les manœuvres de la pompe, le ballon étant immergé dans l'eau bouillante.

L'extraction des gaz donne un volume de $16^{cm^3},5$:

KOHO.	7^{cm^3}
CO^2	9, 5

On ne dose pas l'oxygène qui, dans les 7 centimètres cubes, est en petite proportion mélangé avec de l'oxyde de carbone que l'acide acétique à 100° a dégagé complètement ; les 7 centimètres cubes de gaz sont introduits dans le grisoumètre avec un excès d'air ; le mélange occupe à la pression atmosphérique $v + 54$ divisions ; dès le premier passage du courant, on aperçoit une belle au-

réole bleue autour du fil de platine et après 300 passages de ce courant, le volume des gaz est réduit à $v + 9,5$, la réduction est égale à la différence $54 - 9,5$ ou à $44,5$; $\frac{44,5}{7,6} = 5^{cm^3},8$ CO pour 29 centimètres cubes de sang : pour 100 centimètres cubes de sang cela ferait $\frac{5,8 \times 100}{29} = 20$ centimètres cubes d'oxyde de carbone.

La capacité respiratoire du sang du lapin est voisine de ce nombre, il est certain cependant que, chez l'animal qui a été employé, elle était un peu plus grande, jamais il ne m'est arrivé jusqu'ici de combiner complètement l'hémoglobine du sang avec l'oxyde de carbone et le sang le plus oxycarboné que j'aie pu obtenir dans un empoisonnement par la voie pulmonaire pouvait encore absorber 2 à 4 centimètres cubes d'oxygène; cela est très important, car on peut expliquer ainsi, même après un empoisonnement très grave, le retour à la santé à la suite de soins très prolongés et très actifs qui provoquent l'élimination de l'oxyde de carbone.

Pour le chien, il est beaucoup plus sensible à l'action de l'oxyde de carbone que le lapin. En effet, comme je l'ai reconnu dans des expériences que j'ai faites avec mon collaborateur et ami le Dr Laborde, si l'on fait respirer à un chien un

mélange d'air et d'oxyde de carbone à 1 %, la mort par arrêt de la respiration et par arrêt du cœur survient au bout de 20 minutes.

Quant à la cause pour laquelle le lapin est beaucoup plus réfractaire que le chien à l'action de l'oxyde de carbone, je ne la connais pas encore, je me contente pour le moment d'insister sur ces faits si importants : les réactifs physiologiques démontrent ainsi de très grandes différences entre les carnassiers et les rongeurs.

Nous avons reconnu, le Dr Laborde et moi, que si chez un chien empoisonné par l'oxyde de carbone à 1 % et qui va mourir on a d'abord fixé un tube dans l'artère carotide et si l'on met ce vaisseau en communication avec l'artère carotide d'un autre chien préparé à l'avance, dès que le sang normal du second pénètre dans le système artériel du premier, on voit revenir les mouvements respiratoires et les mouvements du cœur de l'animal empoisonné. Ce procédé de transfusion ne peut être appliqué chez l'homme, mais dans un cas d'empoisonnement par l'oxyde de carbone, on doit intervenir le plus vite possible et agir avec une grande persévérance ; il faut transporter le patient à l'air pur, dans une autre chambre ou en plein air, pratiquer la respiration artificielle par abaissement et relève-

ment des bras sur la poitrine, faire respirer de l'oxygène, mais surtout employer le merveilleux procédé du Dr Laborde, *des tractions rythmées de la langue* qui a déjà sauvé la vie à un grand nombre de personnes, aussi bien aux nouveaux-nés qui ne commencent point à respirer qu'à des adultes noyés ou asphyxiés.

Tractions rythmées de la langue. — J'emprunte au volume qui a été publié par le Dr Laborde (*Les tractions rythmées de la langue*, Félix Alcan, éditeur), l'observation suivante qui est très démonstrative :

« *Rappel à la vie d'un noyé âgé de 76 ans, retiré de l'eau depuis une heure*, par M. le Dr Sorre, chirurgien de l'hôpital de Saint-Malo.

« Le 25 août dernier, à minuit, je fus demandé pour aller donner mes soins, sur les quais de Saint-Malo, à un noyé qui avait été retiré de l'eau depuis une heure et qu'on ne parvenait pas à ramener à la vie. *On le croyait mort.* Je me rendis ausssitôt à l'endroit indiqué, et voici ce que j'appris :

« A onze heures, un vieux marin, de 76 ans, était tombé dans l'avant-port où la mer était haute ; un douanier de service entendant la chute se rendit immédiatement à l'endroit pré-

sumé et jeta, un peu à l'aventure, vu l'obscurité, sa ligne, et eut la chance de le saisir avec un des grappins dont elle était munie, et de l'attirer sur le quai, avec l'aide de trois personnes qui passaient.

« Immédiatement, ces quatre personnes se mirent en devoir de retirer tous ses vêtements, de l'envelopper d'une couverture de laine, de le frictionner vigoureusement en faisant des pressions alternatives sur la poitrine, de façon à rétablir les mouvements respiratoires.

« Aussitôt arrivé, je pris dans ma trousse une pince hémostatique. J'ouvris de force la mâchoire, que je fis maintenir ouverte avec le bout de ma canne introduite entre les dents, je saisis fortement la langue avec la pince, et exécutai des *mouvements rythmés* de cet organe dix-huit à vingt fois par minute. Je continuai cette manœuvre pendant une vingtaine de minutes, malgré tout ce qui se disait autour de moi, notamment que tout ce que je faisais était inutile.

« Enfin, au bout de ce temps, j'eus la grande satisfaction non de voir, parce qu'il faisait une nuit obscure, mais de sentir avec la main de petits mouvements de soulèvement et d'abaissement de la région diaphragmatique; cinq mi-

nutes après, la respiration, quoique encore non régulière, se produisait amplement et me faisait espérer que, s'il ne survenait aucun accident congestif, le résultat obtenu serait définitif.

« Je fis conduire ce *ressuscité* chez lui, le fis envelopper de couvertures, lui fis donner des boissons chaudes.

« 36 heures après, cet homme reprenait ses fonctions de batelier ».

Loi d'absorption de l'oxyde de carbone par le sang d'un mammifère carnassier qui respire pendant une demi-heure un mélange titré d'air et d'oxyde de carbone. — Toute une série d'expériences qui ont été faites avec des mélanges titrés d'air et d'oxyde de carbone compris entre un millième et un dix millième sur des chiens différents m'a donné les résultats suivants qui sont très importants :

Dans un mélange à	$\frac{1}{1\,000}$,	100^{cm^3} de sang ont absorbé	5^{cm^3},5CO
//	$\frac{1}{2\,000}$	//	2, 7
//	$\frac{1}{3\,000}$	//	1, 8
//	$\frac{1}{5\,000}$	//	1, 1
//	$\frac{1}{10\,000}$	//	0, 55

J'ai construit la courbe des résultats en mettant à profit un conseil que M. le professeur A. Cornu, Membre de l'Institut, a eu l'obligeance de me donner, en réduisant les fractions au même dénominateur 10000 afin d'avoir des numérateurs comparables.

Les proportions indiquées ci-dessus deviennent :

$$\frac{10}{10\,000}, \quad \frac{5}{10\,000}, \quad \frac{3.3}{10\,000}, \quad \frac{2}{10\,000}, \quad \frac{1}{10\,000}$$

Sur la ligne des abscisses, je prends dix points équidistants que je numérote de 1 à 10 (*fig.* 14) ; je mène des ordonnées perpendiculaires à la ligne des abscisses et je porte sur ces lignes des longueurs proportionnelles aux nombres qui représentent les volumes d'oxyde de carbone qui ont été absorbés par 100^{cm^3} de sang : pour la fraction $\frac{3.3}{10\,000}$, j'ai soin de mener une ordonnée par un point situé au premier tiers de l'intervalle compris entre 3 et 4 ; je joins par des lignes les cinq points obtenus sur les ordonnées et j'obtiens comme on le voit une ligne absolument droite.

Je conclus que des animaux (chiens) astreints à respirer pendant une demi-heure des mélanges titrés d'oxyde de carbone et d'air compris entre

FIG. 14 — LOI D'ABSORPTION DE L'OXYDE DE CARBONE

Par le sang d'un mammifère carnassier qui respire pendant une demi-heure un mélange titré d'air et d'oxyde de carbone.

0,55
1,1
1,8
2,7
5,5

$\frac{1}{10,000}$ $\frac{2}{10,000}$ $\frac{3}{10,000}$ $\frac{3,5}{10\,000}$ $\frac{4}{10,000}$ $\frac{5}{10,000}$ $\frac{6}{10,000}$ $\frac{7}{10,000}$ $\frac{8}{10,000}$ $\frac{9}{10,000}$ $\frac{10}{10,000}$

Construction des résultats.

un millième et un dix millième absorbent dans le sang des volumes d'oxyde de carbone proportionnels à ceux qui existent dans l'air, c'est une application de la loi d'Henry qui est souvent, et à tort, attribuée à Dalton.

Rien n'est plus facile dans la pratique que d'utiliser la loi que j'ai découverte, et la construction que j'ai faite des résultats : en effet, supposons qu'après avoir extrait les gaz du sang d'un chien qui a respiré un mélange contenant de l'oxyde de carbone, on trouve avec le protochlorure de cuivre que 100 centimètres cubes de sang ont absorbé 3^{cm^3}, 8 d'oxyde de carbone ; portons avec un compas sur la première ordonnée une longueur de 38 millimètres, 1 centimètre cube étant représenté par une longueur égale à un centimètre, et par le point marqué menons une parallèle à la ligne des abscisses, nous rencontrons le tracé en un point qui est sur l'ordonnée de $\frac{7}{10\,000}$, nous trouvons ainsi que l'air qui a été respiré par l'animal pendant une demi-heure renfermait $\frac{7}{10\,000}$ ou $\frac{1}{1\,428}$ d'oxyde de carbone.

Avant de citer d'autres exemples de ce procédé de recherche à la fois physiologique et chimique, il est nécessaire que j'expose les résultats différents que j'ai obtenus quand, au lieu de

faire respirer les animaux pendant une demi-heure j'ai fait durer plus longtemps la circulation dans les poumons des mélanges titrés.

Absorption par le sang de l'oxyde de carbone que l'on fait respirer pendant plusieurs heures. Dans ces nouvelles recherches qui ont exigé l'emploi de 600 ou de 700 litres de mélange renfermés dans un grand gazomètre, je me suis servi pour la mesure du volume d'oxyde de carbone fixé par le sang non plus du protochlorure de cuivre mais du grisoumètre, et cette substitution m'a conduit à découvrir dans le sang la présence d'une trace de gaz combustible ; aussi dans chaque expérience, j'ai toujours soin de prendre d'abord à l'animal un volume mesuré de sang artériel normal et je détermine, au grisoumètre, la réduction que donne le gaz combustible que le sang renferme. Je fais ensuite respirer un mélange gazeux à $\frac{1}{1\,000}$ pendant deux heures et demie, et je prends des échantillons de sang de demi-heure en demi-heure. Après chaque extraction il faut détacher le récipient, introduire 100 centimètres cubes d'acide acétique bouilli, faire le vide à la trompe et par les manœuvres de la pompe à mercure ; les expériences sont laborieuses, mais elles ont été très utiles.

Je ne donnerai point le détail de chaque expérience, mais je ferai connaître les résultats que j'ai obtenus et qui sont rapportés à 100 centimètres cubes de sang :

Mélange à $\frac{1}{1\,000}$			Mélange à $\frac{1}{5\,000}$	Mélange à $\frac{1}{10\,000}$	Mélange à $\frac{1}{20\,000}$
Au bout de	1/2 heure	6^{cm^3},CO	2,8	1,42	1,16
//	1 heure	9, 2	3,5	2,05	1,42
//	1 h. et 1/2	//	4,9	2,9	1,52
//	2 heures	10	4,9	3,15	1,63
//	2 h. et 1/2	9, 3	4,9	3,6	//

Les chiffres sont un peu trop grands, car lorsque je les ai déterminés, je n'avais pas encore découvert la présence dans le sang normal d'une trace de gaz combustible que j'ai toujours soin de retrancher maintenant pour obtenir des nombres exacts. Toutefois les résultats sont instructifs, ils montrent que si, au lieu de faire respirer à un animal un mélange à un millième pendant une demi-heure, on le fait respirer pendant une heure, l'oxyde de carbone, dans 100 centimètres cubes de sang s'accroît de 6 à 9,2 et à partir d'une heure, ce chiffre devient constant.

Pour $\frac{1}{5000}$, ce n'est qu'à partir de une heure et demie que le chiffre 4,9 devient absolument constant, pour $\frac{1}{10000}$ et pour $\frac{1}{20000}$ il y a encore absorption de l'oxyde de carbone par le sang, mais au bout de deux heures on n'a pas obtenu encore la constance du volume de ce gaz absorbé par 100^{cm^3} de sang.

J'ai repris depuis une expérience d'absorption d'un mélange à $\frac{1}{10000}$ dont j'ai fait composer 900 litres ; j'ai choisi un chien de petite taille pesant 7 kilogrammes, et j'ai extrait par l'acide acétique de 25 centimètres cubes de sang artériel normal tous les gaz, y compris le gaz combustible qui a donné au grisoumètre une réduction de 3,4, l'une des plus fortes que j'ai observées, le gaz restant dans le grisoumètre après 400 passages du courant a été conduit dans l'eau de baryte qui est restée tout à fait claire et limpide, le gaz combustible du sang ne renfermait donc pas trace de carbure d'hydrogène, il était formé d'hydrogène pur, selon toute vraisemblance ; or, 1 centimètre cube d'hydrogène donne, dans mon grisoumètre, une réduction de 22,8 divisions : 3,4 divisions correspondent à 0^{cm^3},15 d'hydrogène et 100 centimètres cubes de sang renfermaient quatre fois plus ou 0^{cm^3},6 d'hydrogène.

J'ai fait une seconde prise de sang après deux heures de respiration de mélange à $\frac{1}{10000}$ et ensuite de demi-heure en demi-heure et j'ai obtenu :

Après 2 heures.	1,1 CO
" 2 " et 1/2.	1.2
" 3 "	1,2
" 3 " et 1/2.	1,26

C'est donc après 2 heures et demie que le volume d'oxyde de carbone fixé par le sang est devenu constant.

Si donc on veut rechercher des quantités fort petites d'oxyde de carbone dans l'air confiné d'un appartement, il serait avantageux d'y faire respirer un animal, un chien auquel on aurait d'abord pris un échantillon de sang normal pendant un temps dépassant 2 heures et demie. Mais en général, il suffit pour doser l'oxyde de carbone de faire respirer l'animal seulement pendant une demi-heure et d'appliquer la loi d'absorption en utilisant la courbe ou plutôt la qui la représente.

Expériences *in vitro*. — Il faut être physiologiste pour appliquer mon procédé, en effet, il faut chez l'animal vivant découvrir une artère, y fixer un tube, aspirer et extraire les gaz du sang ; pour

rendre ce procédé d'une application plus générale, j'ai essayé de profiter du pouvoir absorbant, pour l'oxyde de carbone, du sang de bœuf défi-

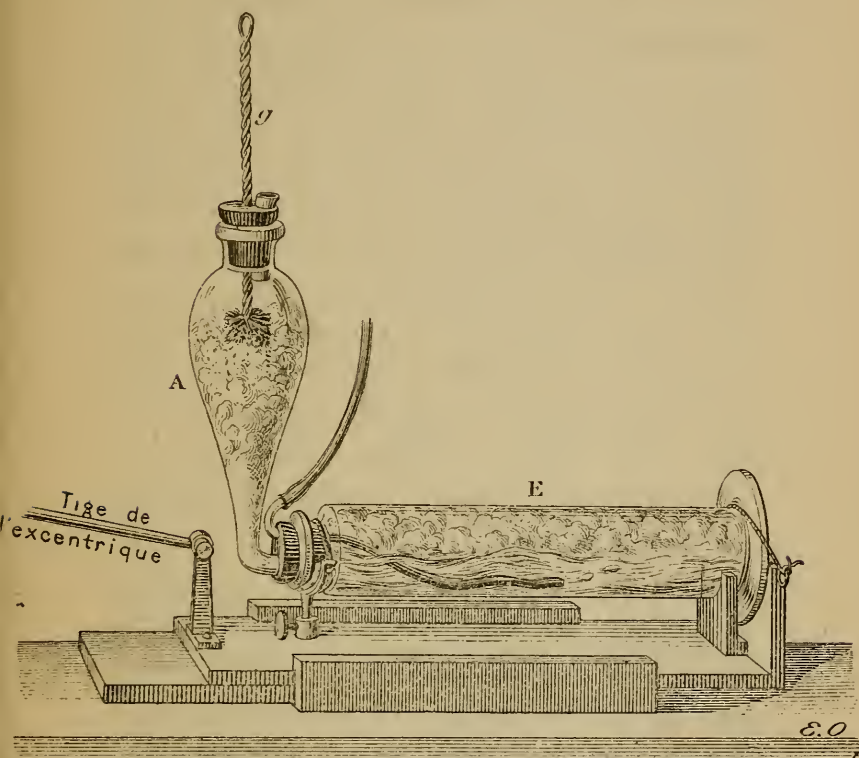


Fig. 15. — Appareil servant à l'agitation du sang traversé par un courant de gaz.

E, éprouvette à pied; A, allonge courbe; *g*, goupillon servant à détruire la mousse.

briné qu'il est très facile de se procurer dans les abattoirs.

Je fais composer dans un gazomètre 150 litres d'un mélange d'oxyde de carbone et d'air à $\frac{1}{500}$ et je fais installer une planche oscillante qui sera mise en mouvement par un petit moteur hydraulique (*fig.* 15) ; sur la planche horizontale, je fixe une grande éprouvette à pied tubulée E dont l'ouverture est fermée par un large bouchon de caoutchouc à un trou traversé par l'extrémité d'une allonge courbe dans laquelle on introduit un goupillon *g* dont la tige est maintenue par un bouchon fermant l'ouverture de l'allonge : je verse dans l'éprouvette 200 centimètres cubes de sang de bœuf défibriné agité d'abord pour que le liquide soit homogène et filtré sur un linge qui retient la fibrine ; l'éprouvette et l'allonge sont maintenues par des cordes fixées sur la planche oscillante ; au moyen d'un tube de verre fixé au gazomètre et à la tubulure de l'éprouvette, on fait arriver le mélange titré bulle à bulle dans le sang ; il se produit beaucoup de mousse malgré les oscillations de la planche, mais les bulles de gaz qui pénètrent dans l'allonge viennent se rompre contre les crins du goupillon qu'il faut agiter de temps en temps : le barbotage doit durer une heure ; on introduit ensuite le sang qui a fixé un certain volume

d'oxyde de carbone dans un flacon placé à l'extrémité d'une corde ayant 3 ou 4 mètres de long que l'on fait tourner rapidement dans la cour du laboratoire, pour enlever au sang, par la force centrifuge, toutes les bulles de gaz qu'il renferme : c'est alors qu'on introduit 100 centimètres cubes de sang dans un récipient vide renfermant 100 centimètres cubes d'acide acétique à 8° privé de gaz par l'ébullition : trois expériences faites avec des mélanges titrés différents ont donné les résultats suivants :

Proportions d'oxyde de carbone dans l'air :

$$\frac{1}{500} \qquad \frac{1}{1\,000} \qquad \frac{1}{5\,000}$$

Proportions d'oxyde de carbone dans le sang :

6^{cm^3} $\qquad$ 4^{cm^3} $\qquad$ $0^{cm^3},9$

Les nombres trouvés comparés à ceux qui ont été obtenus chez le chien vivant, sont notablement plus petits ; cette différence peut tenir à trois causes :

1° l'expérience d'absorption *in vitro* au lieu de durer deux heures n'a duré qu'une heure ;

2° le sang de bœuf est moins riche en hémoglobine que le sang de chien, sa capacité respiratoire est moindre ;

3° l'absorption de l'oxyde de carbone par le

sang dans les poumons paraît beaucoup plus active que l'absorption par le sang agité dans un flacon.

Bien que l'on puisse doser l'oxyde de carbone dans un mélange gazeux par le procédé que je viens d'indiquer, je préfère utiliser l'animal vivant, mais comme il serait bien difficile dans certains cas de faire transporter un animal opéré, de faire une prise de sang et une extraction des gaz loin du laboratoire, je me suis servi d'un autre procédé qui consiste à faire comprimer l'air confiné à l'aide de la pompe rotative de Golaz dans un récipient métallique de l'Usine à oxygène de Passy que j'ai vidé d'abord à l'aide de la trompe.

Le récipient qui renferme de l'air comprimé à 6 atmosphères est rapporté au Laboratoire, mis en rapport avec le gazomètre dans lequel le gaz se détend ; on fait respirer le contenu du gazomètre à un chien pendant une demi-heure. Dans une expérience faite avec un brasero des gaziers placé dans une salle du contenu de 100 mètres cubes, j'ai fait comprimer l'air confiné pris à l'intérieur par un long tube après deux heures de combustion vive ; 100 centimètres cubes de sang de l'animal, qui a respiré pendant une demi-heure l'air de la salle, contenaient

$11^{cm^3},96$, d'oxyde de carbone, ce qui indiquait dans l'air confiné une proportion de $\frac{1}{459}$ d'oxyde de carbone.

Sur la présence dans le sang normal de traces de gaz combustible. — Après avoir fait respirer à un chien un mélange d'air et d'oxyde de carbone à un dix millième pendant une demi-heure j'ai trouvé avec le grisoumètre $1^{cm^3},42$ d'oxyde de carbone dans 100 centimètres cubes de sang ; ce chiffre est plus élevé que celui de 0,55 qui avait été obtenu par l'analyse à l'aide du protochlorure de cuivre, lorsque j'ai établi une loi d'absorption de l'oxyde de carbone par le sang (*Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, 1892).

Cette différence, inexplicable tout d'abord, m'a conduit à rechercher si le sang normal ne renfermerait pas de gaz combustible. Pour élucider cette question, j'ai fait une série d'expériences :

Expérience I. — On aspire dans l'artère carotide d'un chien, à l'aide d'une seringue de physiologie, 47 centimètres cubes de sang qui sont injectés dans un récipient vide uni à la pompe à mercure qui a reçu d'abord 100 centimètres cubes d'acide acétique à 8° Baumé ; on a fait bouillir cet acide dans un bain d'eau à 100° et

on a extrait par les manœuvres de la pompe les gaz qu'il contenait ; le sang a fourni :

Gaz	27^{cm^3}
Potasse.	8
CO^2	19

On n'a point absorbé l'oxygène, mais on a fait passer dans le grisoumètre les 8 centimètres cubes de gaz restant additionnés d'air qui ont occupé le volume *v* de l'ampoule augmenté de 24 divisions, la lecture ayant été faite sans pression ; après 400 passages du courant à travers le fil de platine, le volume s'est réduit à 23 ; donc la réduction a été égale à une division ; il y avait dans le sang une trace de gaz combustible.

Expérience II. — Dans les mêmes conditions, un volume égal à 91 centimètres cubes de sang artériel normal d'un autre animal n'a donné qu'une seule division, ce qui indiquait une quantité de gaz combustible encore plus faible.

Expérience III. — Il est essentiel d'opérer sur le sang avec de l'acide acétique privé de gaz, car l'introduction de 100 centimètres cubes d'acide acétique à 8° dans le récipient a donné $3^{cm^3},8$ de gaz qui, agités avec de la potasse, ont laissé $3^{cm^3},5$ de résidu : ce volume restant analysé au

grisoumètre a donné une réduction de 2,8 ; c'était de l'hydrogène.

Expérience IV. — Pour me mettre complètement à l'abri de la cause d'erreur qui pourrait tenir à l'introduction de gaz combustible par l'acide acétique, j'ai extrait les gaz du sang directement introduit dans le récipient vide sans addition d'acide :

126 centimètres cubes de sang artériel pris dans la fémorale d'un chien ont donné, à 60°, une réduction très faible mais notable, 0,7, ce qui ferait pour 100 centimètres cubes de sang, 0,55 ; dans le même sang on a fait passer ensuite 100 centimètres cubes d'acide acétique privé de gaz par l'ébullition à l'air libre et on a obtenu une réduction plus grande, 1,4, ce qui correspond à 1,11 pour 100 centimètres cubes ; en totalité, 1.66 pour 100 centimètres cubes de sang : ces résultats feraient supposer que le tiers du gaz combustible du sang serait contenu dans le plasma et les deux tiers dans les globules qui sont détruits par l'acide acétique.

Expérience V. — On fait pénétrer dans le récipient vide 100 centimètres cubes d'acide acétique à 8° privé d'abord de gaz par l'ébullition dans l'air, puis 42 centimètres cubes de sang aspiré dans l'artère fémorale qui ont donné une réduc-

tion égale à 1,8 division du grisoumètre ; dans le même récipient vide absolument, sans extraire ni le sang, ni l'acide, on fait passer successivement deux échantillons du même volume de sang (42 centimètres cubes) qui donnent des réductions de 1,8 et 1,9, c'est-à-dire indiquent des volumes égaux de gaz combustible.

Quel est ce gaz ? En faisant passer après la combustion le contenu de l'ampoule du grisoumètre dans 3 centimètres cubes d'eau de baryte bien claire, on n'observe, tantôt aucun louche appréciable, tantôt un léger louche, voire même un léger précipité ; c'est ou de l'hydrogène ou de l'hydrogène renfermant un peu de carbure ; ce qui est certain, c'est que la présence dans le sang d'une trace de gaz combustible ne peut plus être mise en doute.

Calculons pour 100 centimètres cubes de sang ce que la réduction précédente 1,8 représente de gaz, en admettant que ce soit de l'hydrogène pur ; nous écrivons la proportion $\frac{42}{1,8} = \frac{100}{x}$, $x = 4,3$ divisions pour 100 centimètres cubes de sang ; mais nous savons que 1 centimètre cube d'hydrogène pure donne au grisoumètre une réduction de 22,8 divisions ; une seconde proportion $\frac{1}{22,8} = \frac{y}{4,3}$ nous donne $y = 0^{cm^3},19$; pour 100

centimètres cubes de sang il y a donc à peu près deux dixièmes de centimètre cube d'hydrogène.

Simplification du procédé de mesure de la quantité de sang de Gréhant et Quinquaud. — Mon très regretté collaborateur et ami le docteur Quinquaud, a établi avec moi un procédé de mesure de la quantité de sang chez l'animal vivant à l'aide de l'oxyde de carbone, que l'Académie des sciences a bien voulu récompenser ; le procédé était fort laborieux et il exigeait au moins deux longues séances de laboratoire ; l'emploi du grisoumètre m'a permis de le simplifier, tout en permettant d'opérer avec la même exactitude. Il me suffira d'exposer la série des opérations nécessaires.

1° Sur la tête d'un chien du poids de 18^{kg},500, de forte taille, je fixe avec grand soin une muselière de caoutchouc liée derrière l'occiput et recouverte d'une bande qui applique exactement le caoutchouc sur le museau : les deux chefs sont liés ensuite derrière l'occiput ; l'extrémité de la muselière est unie au robinet à trois voies d'une cloche graduée dans laquelle on a introduit 2 litres d'oxygène et 500 centimètres cubes d'hydrogène pur afin de mesurer par mon procédé le volume des poumons, des fosses nasales, de la cavité buccale et de la muselière ; pour

faire pénétrer le mélange gazeux dans les poumons à la fin d'une expiration, on a réuni le robinet à un tube en T communiquant avec deux soupapes hydrauliques servant l'une à l'inspiration, l'autre à l'expiration ; la mesure a duré deux minutes.

2° L'analyse eudiométrique du mélange gazeux homogène a été faite par le procédé de Coquillion : on a transvasé le gaz privé d'acide carbonique dosé par la potasse dans une cloche graduée ordinaire qui a été fermée par un bouchon de caoutchouc à trois trous traversés par deux pinces métalliques réunies par un fil de platine et par un robinet de laiton ; on a eu le soin de mesurer dans la cloche un volume de gaz assez grand pour que l'anse de platine se trouve dans le gaz. La cloche fixée par mon support à coulisse est maintenue plongée dans un bocal plein d'eau, fermeture hydraulique nécessaire dans le cas où le bouchon ne fermerait point parfaitement ; on fait passer à travers les pinces un courant de 8 ampères qui fait rougir le fil de platine, enflamme le mélange gazeux formé d'hydrogène, d'oxygène et d'azote, et on mesure la réduction dont les deux tiers représentent l'hydrogène. L'analyse faite dans ces conditions est aussi exacte que l'analyse eudiométrique or-

dinaire, elle ne manque jamais ; elle a donné, pour le volume cherché des poumons, de la muselière et de la cloche $3^{lit},76$; il restait dans la cloche graduée $1^{lit},86$, la différence, $1^{lit},90$, représente le volume des poumons et de la muselière, donnée numérique qu'il est essentiel de connaître.

3° Au bout d'un quart d'heure de respiration dans l'air, tout l'hydrogène qui a servi à la mesure ayant été éliminé, je fais respirer à l'animal un mélange de 3 litres d'oxygène et de $244^{cm^3},3$ d'oxyde de carbone pur, pendant six minutes trente secondes ; pendant la dernière minute, j'aspire dans l'artère carotide avec une seringue, 42 centimètres cubes de sang, dont j'extrais dans le vide l'oxyde de carbone à l'aide de l'acide acétique privé de gaz ; le grisoumètre a donné lors du premier passage du courant une belle auréole bleue caractéristique et après 400 fermetures du courant une très forte réduction de 47,7 divisions ; retranchons 1,5 réduction qu'a fourni un échantillon de sang normal, il reste 46,2 divisions.

On sait qu'un centimètre cube d'oxyde de carbone correspond dans mon grisoumètre à une réduction de 7,6 divisions, par conséquent

$\frac{46.2}{7,6}$ donnent $6^{cm^3},078$ d'oxyde de carbone qui ont été fixés par 42 centimètres cubes de sang.

4° On dose au grisoumètre l'oxyde de carbone restant dans la cloche et on trouve dans 33 centimètres cubes de gaz, $0^{cm^3},263$ d'oxyde de carbone : le volume total du gaz resté dans la cloche et dans les poumons était $3^{lit},400$ centimètres cubes ; il renfermait $\frac{0.263 \times 3400}{33}$ ou $27^{cm^3},1$ d'oxyde de carbone non absorbé : on a fourni à l'animal 244,3 d'oxyde de carbone pur, $217^{cm^3},2$ ont été absorbés par le sang, la proportion suivante va nous faire connaître le volume total du sang :

$$\frac{42}{6,078} = \frac{x}{217,2}; \qquad x = 1501^{cm^3}.$$

5° Le poids de l'animal était $18^{kg},5$; admettons que la densité du sang de chien soit 1,06, nous aurons $1501 \times 1,06 = 1591$ grammes pour le poids du sang : le rapport de ce poids au poids de l'animal est égal à

$$\frac{1591}{18500} = \frac{1}{x} = \frac{1}{11,6}.$$

Dans les mesures que j'ai faites avec le docteur Quinquaud, nous dosions l'oxyde de carbone

laissé dans la cloche et dans les poumons par l'oxyde de cuivre chauffé au rouge, opération très longue; nous avons trouvé entre 1/11e et 1/13e.

La méthode colorimétrique qui consiste à sacrifier un animal par hémorrhagie et à soumettre tout l'appareil circulatoire à un lavage par l'eau fournit des résultats voisins des nôtres, mais elle exige la mort de l'animal et elle ne permet pas d'entreprendre des recherches sur la régénération du sang que je me propose de commencer bientôt.

CHAPITRE II

—

RECHERCHES SUR LES PRODUITS DE LA COMBUSTION DU COKE DANS LE BRASERO DES GAZIERS

Le brasero des gaziers est un appareil de chauffage très simple et très énergique que l'on voit souvent employer dans les rues de Paris par les ouvriers du gaz et de la Compagnie des Asphaltes.

Je me suis demandé si l'usage de cet appareil qui est employé quelquefois pour chauffer des ateliers ou de vastes salles, n'est point contraire à l'hygiène, et j'ai cherché un dispositif permettant l'échappement complet au dehors de tous les produits de combustion.

Les recherches expérimentales que j'ai faites sur ce sujet, pouvant être d'une grande utilité pour la construction des appareils de chauffage, je les exposerai avec beaucoup de détails.

Le brasero dont je me suis servi et qui m'a été prêté obligeamment par MM. Bizot et Akar est un cylindre ayant 42 centimètres de diamètre et 43 centimètres de hauteur, dont le fond est formé par une grille ; tout le contour du cylindre est percé de nombreux trous qui ont $1^{cm},5$ de diamètre et qui ont été percés aux sommets de losanges, dont les côtés ont 4 centimètres de longueur ; le cylindre est porté sur trois pieds ayant 10 centimètres de hauteur au-dessus du sol.

On allume sur la grille de la braise de boulanger et du charbon de bois avec une boule de résine ; quand le charbon est bien allumé, on remplit de coke complètement ; il faut environ une heure pour que toute la masse soit allumée et brûle avec une flamme rose, flamme colorée par les sels de potasse. Théoriquement, on pourrait penser que l'acide carbonique dégagé par la combustion du coke à la partie inférieure, passant sur la colonne de coke rouge qui remplit tout le cylindre se convertit en oxyde de carbone, de même que dans les cours de Chimie on démontre qu'un courant d'acide carbonique tra-

versant un tube de porcelaine rempli de charbon chauffé au rouge peut servir à la préparation de l'oxyde de carbone ; mais les conditions ne sont pas les mêmes, car, dans le brasero, l'air afflue de toutes parts, aussi bien par la grille inférieure que par les trous très nombreux qui se trouvent sur toute la surface du cylindre. J'ai soumis tout d'abord les produits de la combustion du coke dans le brasero à la recherche physiologique et grisoumétrique de l'oxyde de carbone.

Expérience I. — Le brasero est allumé en plein air ; lorsque la combustion est bien établie, je fais disposer à 50 centimètres au-dessus du foyer incandescent, l'extrémité recourbée d'un tube de cuivre ayant 2 mètres de longueur, $0^m,03$ de diamètre, enveloppé d'un manchon traversé par un courant d'eau froide.

Sur la tête d'un chien, fixé sur la gouttière de Claude Bernard, on fait attacher une muselière de caoutchouc qui est unie par un tube en T avec deux soupapes hydrauliques servant à l'inspiration et à l'expiration ; par la première soupape, l'animal respire les produits de la combustion refroidis convenablement ; l'expérience a duré deux heures : l'animal s'est agité à plusieurs reprises ; en jetant du sel ammoniac sur

le foyer, on a vu se produire des fumées abondantes qui se sont répandues dans l'air et qui ont démontré dans quelle étendue se disséminent les gaz de la combustion ; une petite quantité de fumée seulement a pénétré dans la soupape d'inspiration et dans les poumons de l'animal.

On a eu soin de prendre à l'animal, avant l'expérience, 42 centimètres cubes de sang artériel normal qui ont été traités dans le vide par l'acide acétique privé de gaz et ont donné une réduction de 1,4, division du grisoumètre ; tandis que 42 centimètres cubes du sang pris deux heures après le début de l'expérience, ont donné une réduction de 6,5 ; en retranchant 1,4 (gaz combustible du sang) il reste 5,1 ; or, nous savons que 7,6 correspondent à un centimètre cube d'oxyde de carbone : nous écrivons la proportion : $\frac{5,1}{x} = \frac{7,6}{1}$ d'où $x = \frac{5,1}{7,6} = 0,67$; mais si 42^{cm^3} de sang renfermaient $0^{cm^3},67$ oxyde de carbone, 100^{cm^3} contenaient $\frac{0.67 \times 100}{42} = 1^{cm^3},6$ d'oxyde de carbone : nous voyons, en appliquant les résultats de mes recherches sur l'absorption, que cette quantité d'oxyde de carbone dans le sang correspond à une proportion d'oxyde de carbone dans l'air de $\frac{1}{9\,300}$; il fallait

toute la sensibilité et l'exactitude de mon procédé à la fois physiologique et chimique pour déceler, dans les produits de la combustion du brasero employé en plein air, une trace d'oxyde de carbone.

Expérience II. — On fait allumer le brasero au dehors et quand la combustion a lieu dans toute la hauteur du cylindre, on fait transporter le brasero dans un magasin situé dans le jardin du Laboratoire et dont la capacité est de 100 mètres cubes environ ; dans ces conditions, on répète l'expérience classique et fondamentale de Félix Leblanc ; mais au lieu de placer un chien dans la salle, j'ai trouvé plus commode de faire fixer l'animal sur une table placée en dehors, et de lui faire respirer, à l'aide de la muselière, des soupapes et d'un long tube de cuivre, l'air vicié par la combustion pris à deux mètres du foyer : cette disposition est très favorable, car elle permet de prendre le sang dans une artère sans pénétrer dans la salle.

Après deux heures de respiration, l'analyse grisoumétrique des gaz extraits de 49 centimètres cubes de sang a donné une auréole bleue, au premier passage du courant et une réduction considérable de 43,7 divisions.

Retranchons une division pour le gaz com-

bustible du sang normal, il reste 42,7 divisions; cherchons le volume d'oxyde de carbone correspondant : $\frac{7,6}{1} = \frac{42,7}{x}$; $x = 5^{cm^3},6$; quel était le volume d'oxyde de carbone contenu dans 100 centimètres cubes de sang : on a la proportion : $\frac{49}{5,6} = \frac{100}{x}$; $x = 11^{cm^3},4$ CO. Admettons qu'au voisinage de $\frac{1}{1\,000}$, il y ait proportionnalité dans les chiffres d'oxyde de carbone absorbés par le sang, nous écrirons :

$$\frac{\frac{9,5}{1}}{1\,000} = \frac{\frac{11,4}{1}}{x} \text{ d'où } x = 833.$$

Il y aurait dans l'air de la salle $\frac{1}{833}$ environ d'oxyde de carbone. Cette proportion pourrait être mortelle chez l'homme, surtout pendant le sommeil.

J'ai fait ensuite un grand nombre d'essais pour rendre salubre l'emploi du brasero dans le chauffage, j'ai cherché à enlever tous les produits de la combustion et je suis arrivé comme on va le voir bientôt à un résultat satisfaisant.

Expérience III. — J'ai fait disposer au-dessus du brasero allumé en plein air, un cône de tôle dont la base ayant $1^m,10$ de diamètre se trouvait

à un mètre au-dessus du sol, le cône était soudé à un long tuyau cylindrique de 15 centimètres de diamètre et de 6 mètres de hauteur. Un support convenable formé de trois tiges verticales, et des fils métalliques maintenaient vertical l'axe de l'appareil.

J'ai cherché d'abord si l'air entraîné par le cône et le tuyau contient de l'oxyde de carbone et j'ai fait respirer à un animal le mélange gazeux pris en haut du tuyau : pour cela, un long tube de cuivre recourbé en forme de crosse était maintenu par une échelle double, introduit dans le tuyau et par un tube de caoutchouc aussi large que le tube métallique, les gaz de la combustion et l'air entraîné traversaient un refrigérant, puis une soupape d'inspiration et circulaient dans les poumons d'un chien ; au bout d'une demi-heure j'ai extrait les gaz du sang pris dans l'artère carotide : 46 centimètres cubes de sang ont donné 27 centimètres cubes, de gaz qui renfermaient 21 centimètres cubes d'acide carbonique ; j'ai fait passer 6 centimètres cubes, qui n'ont point été absorbés par la potasse dans le grisoumètre et j'ai obtenu une réduction de 7,1 divisions qui correspondait à $0^{cm^3},93$ d'oxyde de carbone ou à $2^{cm^3},02$ d'oxyde de carbone pour 100 centimètres cubes de sang. Appliquons la loi d'absorption

au bout d'une demi-heure, et nous trouvons dans l'air pris dans le tuyau $\frac{1}{2\,720}$ d'oxyde de carbone.

J'ai ainsi démontré directement que le cône et le tuyau déversent dans l'atmosphère de l'oxyde de carbone. Mais cela ne suffisait pas, il fallait s'efforcer d'établir un dispositif capable d'entraîner tout l'oxyde de carbone produit par la combustion du coke dans le brasero.

Expérience IV. — Le brasero a été transporté dans le magasin de 100 mètres cubes, le cône et le long tuyau ont été fixés au-dessus ; l'allumage du coke a eu lieu à 10 heures ; à 2 heures, la combustion est très vive, on jette du sel ammoniac sur le charbon, des vapeurs abondantes pénètrent dans le cône et s'échappent au dehors par le tuyau, mais on constate avec surprise que des vapeurs se déversent immédiatement autour de l'entonnoir et se répandent dans la salle ; ainsi l'entonnoir et le tuyau sont insuffisants, il en résulte qu'aucune hotte employée dans les laboratoires ou dans les appartements ne présente un tirage suffisant pour faire échapper complètement au dehors tous les produits de la combustion.

La recherche physiologique et chimique faite

avec un animal va nous indiquer quelle est la proportion d'oxyde de carbone qui se répand dans l'air confiné.

29 centimètres cubes de sang normal d'un chien ont donné au grisoumètre une réduction de 0,7. Après deux heures de séjour de l'animal dans une cage placée à 2 mètres du brasero, le même volume de sang a donné au grisoumètre une réduction beaucoup plus grande, 14, 3 ; retranchons 0,7, il reste 13,6 réduction due à la présence de l'oxyde de carbone ; or, 13,6 représentent $1^{cm^3},79$ de ce dernier gaz ou $6^{cm^3},17$ d'oxyde de carbone pour 100 centimètres cubes de sang. La respiration du mélange gazeux ayant duré 2 heures, on voit, en utilisant les résultats indiqués (p. 112), que la proportion d'oxyde de carbone dans l'air de la salle était voisine de $\frac{1}{2\,500}$.

EXPÉRIENCE V. *Combustion du bois dans le brasero.* — Le brasero étant placé sous le cône, je fais allumer du bois qui brûle avec une flamme qui s'élève dans le cône et donne beaucoup de fumée qui s'échappe au dehors mais qui se répand aussi dans la pièce.

Après avoir pris à un chien un échantillon de sang normal, 42 centimètres cubes, dont les gaz ont donné au grisoumètre une réduction de

2,2 divisions, j'ai fait placer l'animal dans une cage à deux mètres du foyer ; après une heure de séjour, je fais apporter le chien dans la cour du Laboratoire et je prends en une minute un second échantillon de sang égal à 42 centimètres cubes ; les gaz du sang ont donné au grisoumètre une réduction de 25,6 divisions qui est beaucoup plus grande ; retranchons 2,2, il reste 23,4 divisions qui correspondent à 3^{cm^3},08 d'oxyde de carbone ou à 7^{cm^3},3 pour 100 centimètres cubes de sang.

L'animal ayant été replacé aussitôt pendant une deuxième heure dans le magasin qui contenait de la fumée irritant les yeux, on prit un 3e échantillon de sang qui, au grisoumètre, offrit une auréole bleue très belle et une réduction considérable de 41,8 divisions ; retranchons 2,2, il reste 39, 6 divisions correspondant à $\frac{39,6}{7,6}$ ou à 5^{cm^3},2 d'oxyde de carbone, et à 12,4 d'oxyde de carbone pour 100 centimètres cubes de sang.

Cette expérience démontre, contrairement à ce qui est admis généralement, que la combustion du bois dégage avec la fumée une certaine quantité d'oxyde de carbone, qui pourrait produire un empoisonnement mortel.

Expérience VI. — J'ai fait souder à la base du

cône une cloche cylindrique ayant le même diamètre $1^{m},10$ et autant de hauteur qui repose sur le sol de la chambre à expérience ; sur la surface extérieure, le constructeur, d'après mes indications, a percé une large ouverture limitée par deux coulisses entre lesquelles on peut faire glisser une porte cintrée ayant 50 centimètres de large et 60 centimètres de hauteur ; afin de pouvoir limiter convenablement l'ouverture qui laissera passer l'air nécessaire à la combustion et l'air entraîné, on a percé des trous dans les coulisses et à l'aide de fiches on maintient plus ou moins élevé le bord inférieur de la porte ; lorsque celle-ci est complètement ouverte ou enlevée, le brasero étant en pleine combustion, du sel ammoniac jeté sur le coke se dégage encore en partie dans la salle ; cet essai renouvelé lorsque l'ouverture laissée par la porte ne présente plus qu'une surface rectangulaire de 50 centimètres de large sur 25 centimètres de hauteur montre au contraire que la ventilation est complète, les vapeurs de sel ammoniac se dégagent entièrement dans la cloche dans le cône et par le tuyau dans l'air extérieur.

La recherche physiologique donne une seconde démonstration plus complète encore de ce fait : après un séjour qui a duré deux heures, la tem-

pérature de l'air intérieur fortement chauffé par le brasero et par son enveloppe étant égale à 36°, 42 centimètres cubes de sang d'un animal n'ont donné au grisoumètre qu'une réduction de 3,5 divisions, tandis que le même volume de sang normal a donné 1, 2 ; il y avait donc dans le sang 2,3 divisions correspondant à $0^{cm^3},3$ oxyde de carbone ou à $0^{cm^3},7$ CO pour 100 centimètres cubes de sang : ce qui représentait seulement $\frac{1}{17\,000}$ d'oxyde de carbone dans l'air.

Cette quantité fort petite venait probablement du gaz qui passait par quelques joints imparfaits existant entre les diverses pièces de l'appareil.

Je n'ai pas besoin d'insister beaucoup sur les applications pratiques qui résulteront de mes recherches expérimentales et qui permettront d'établir, soit pour l'usage des Laboratoires, soit pour l'économie domestique, des appareils permettant d'obtenir une ventilation complète et qui seraient absolument hygiéniques : on voit par ce qui précède que, même pour un appareil de chauffage aussi énergique que le brasero des gaziers, *il faut réduire de beaucoup l'ouverture par laquelle doit pénétrer l'air nécessaire à la combustion* ; une ouverture ayant 50 centimètres de long sur 25 de haut a suffi pour assurer

la combustion et le passage de l'air entraîné; dans ces conditions, la température de l'air prise à 3 mètres dans le tuyau a été trouvée égale à 237°. Il est certain qu'en imitant le dispositif que j'ai décrit il serait facile de chauffer de vastes salles comme celle du Palais de l'Industrie, sans exposer les visiteurs des expositions qui ont lieu pendant l'hiver à respirer les produits de combustion si nuisibles des poêles sans tuyau.

CHAPITRE III

—

RECHERCHES COMPARATIVES SUR LES PRODUITS DE COMBUSTION DU GAZ D'ÉCLAIRAGE FOURNIS PAR LE BEC AUER ET PAR LE BEC BENGEL

Le bec Auer fournit un éclairage si blanc et si brillant qu'il a été adopté par un grand nombre de consommateurs ; je me suis demandé s'il fournit les mêmes produits de combustion que le bec Bengel, l'expérience seule pouvait répondre à cette question. J'ai employé successivement les deux procédés, l'un purement chimique, l'autre à la fois physiologique et chimique que j'ai fait connaître. Après avoir recueilli comme je vais le dire les produits de combustion d'un bec Auer, je les fais passer lentement dans

le tube à tournure de cuivre grillée qui transforme en acide carbonique toute trace de gaz combustible contenant du carbone.

S'il existe dans ces produits un peu de formène ou protocarbure d'hydrogène, ce gaz donnera avec l'oxygène emprunté à l'oxyde de cuivre de l'acide carbonique qui troublera l'eau de baryte du dernier tube.

Le même trouble aurait lieu si les produits de la combustion renfermaient de l'oxyde de carbone, mais la distinction à faire entre ces deux gaz est très importante au point de vue physiologique, puisque le formène est inerte, nullement toxique, tandis que l'oxyde de carbone est un poison spécial de l'hémoglobine qui diminue le pouvoir absorbant du sang pour l'oxygène. On pourrait, il est vrai, modifier l'appareil à combustion, pour déceler par pesée l'eau formée dans le cas de combustion du formène et comparer le poids de l'eau au poids d'acide carbonique, mais il faudrait pour cela supprimer les fermetures hydrauliques, qui offrent une excellente garantie, car elles s'opposent à toute pénétration dans l'appareil des gaz de l'atmosphère ambiante qui sont viciés par la combustion de la grille à analyses.

Aussi, après avoir recherché l'existence d'un

gaz combustible, j'ai fait une seconde recherche physiologique et chimique par mon procédé, à l'aide de l'animal astreint à respirer les produits de combustion pendant une demi-heure.

Expérience I. *Bec Auer.* — On allume le bec Auer avec une flamme d'alcool, au bout de 5 minutes de combustion, après avoir lavé le gazomètre avec de l'air pris en dehors du laboratoire, on aspire les produits de combustion en ouvrant largement pendant un instant très court le gros robinet, puis en le tournant convenablement en faisant coïncider deux lignes de repère, pour que l'appel des produits de la combustion et de l'air entraîné ne soit pas trop rapide ; il faut 6 minutes pour remplir la cloche de 150 litres.

La *fig.* 16 montre le dispositif employé pour receuillir les gaz et pour les refroidir : le bec Auer a été vissé sur un pied garni d'un cercle à rainure qui reçoit un manchon de cristal ayant 12 centimètres de diamètre qui repose sur 3 lames étroites de liège, de sorte que l'air nécessaire à la combustion entre facilement au dessous du manchon ; l'ouverture supérieure de ce cylindre est fermée par un couvercle métallique auquel on a soudé un tube de laiton qui présente une courte branche verticale et une longue branche horizontale enveloppée d'un

manchon réfrigérant traversé par un courant d'eau froide ; ce tube métallique dans lequel se refroidissent les produits de la combustion est uni par un long et large tube de caoutchouc avec le robinet du gazomètre.

J'ai toujours eu le soin de faire brûler le bec Auer dans une autre salle que celle dans laquelle avait lieu la combustion de la grille à analyse servant au dosage par l'oxyde de cuivre qui produisait une certaine viciation de l'air.

Le gaz du gazomètre était pris au sommet de la cloche par le robinet supérieur et conduit par un long tube en U renversé et par un tube de caoutchouc à la série des barboteurs de Cloez qui le débarrassait complètement de l'acide carbonique, les deux tubes à baryte restaient tout à fait clairs, puis le gaz après avoir traversé le tube à combustion barbotait dans le dernier tube à baryte ; il y a produit un précipité manifeste de carbonate de baryte.

En effet, 30 litres de gaz ayant circulé à travers le tube à combustion ont donné dans le vide, lors de la décomposition de ce précipité par l'acide chlorhydrique étendu pur et bouilli $11^{cm^3},6$ d'acide carbonique qui correspondaient à $11^{cm^3},6$ de formène ou d'oxyde de carbone ; la proportion $\frac{30000}{11,6} = \frac{x}{1}$ nous donne pour le gaz combus-

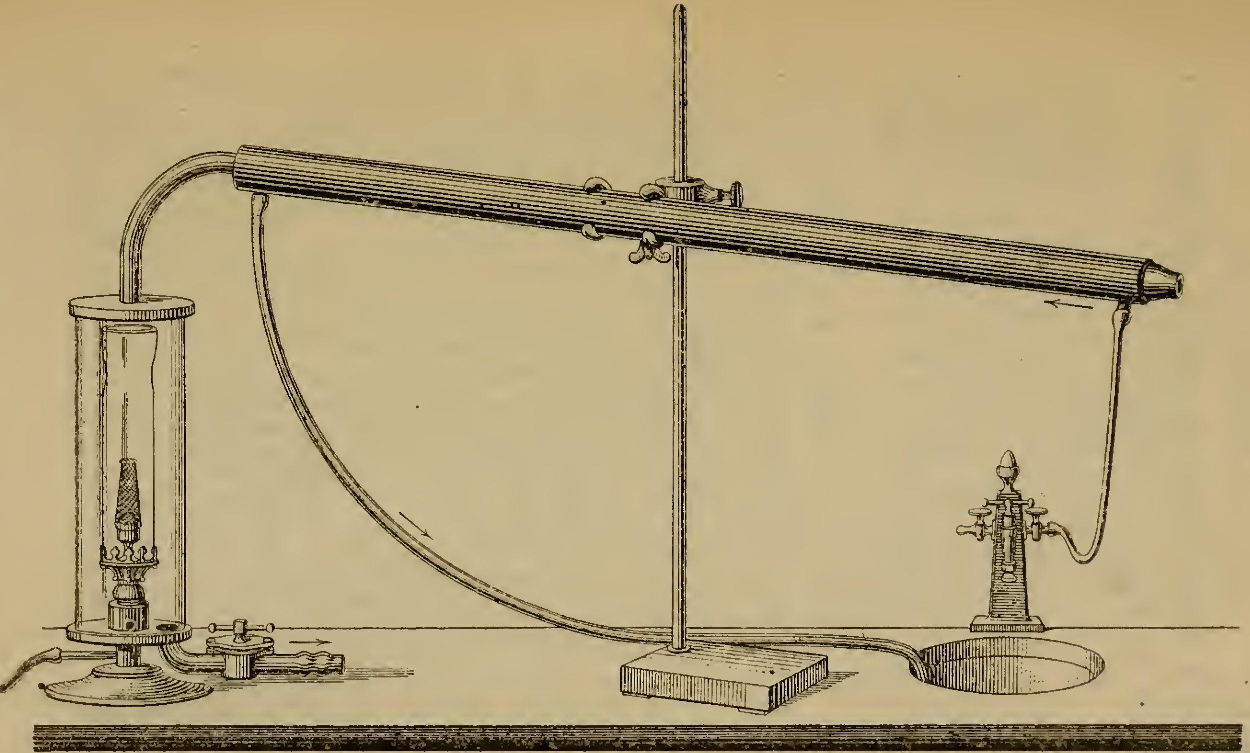


Fig. 16. — Appareil permettant de refroidir et de recueillir les gaz provenant de la combustion d'un bec Auer.

tible contenu dans les produits de combustion du bec Auer une proportion de $\frac{1}{2586}$.

Au point de vue de l'hygiène, il est important de rechercher si le gaz combustible contient de l'oxyde de carbone. C'est pourquoi j'ai appliqué mon procédé qui permet de distinguer facilement le gaz qui a une si grande affinité pour l'hémoglobine.

Expérience II. — Après avoir rempli de la même manière le gazomètre contenant 150 litres avec les produits de combustion d'un bec Auer, j'ai découvert chez un chien l'artère fémorale et j'ai aspiré 42 centimètres cubes de sang normal qui ont donné 25 centimètres cubes de gaz total que la potasse a réduit à $6^{cm^3},4$: ce gaz introduit dans le grisoumètre a donné une réduction de 3, 2 divisions, l'une des plus fortes que j'ai observées. J'ai fait respirer à l'animal le contenu du gazomètre et au bout d'une demi-heure l'extraction des gaz du sang a donné au grisoumètre une réduction égale à 7,3 divisions ; en retranchant la réduction 3.2 du sang normal, on obtint pour le sang partiellement oxycarboné une réduction égale à 4,1, correspondant à $0^{cm^3},54$ d'oxyde de carbone, ce qui donnait pour 100 centimètres cubes de sang $1^{cm^3},28$ de ce gaz.

Appliquons la loi d'absorption :

$$\frac{5,5}{\frac{1}{1000}} = \frac{1,28}{\frac{1}{x}} \quad x = 4290\,;$$

la proportion d'oxyde de carbone dans les produits de combustion du bec Auer mélangés à l'air entraîné recueillis en 6 minutes était égale à $\frac{1}{4290}$. Cette quantité n'aurait pas été reconnue si je ne m'étais servi de procédés très exacts.

Comme vérification, j'ai fait passer le contenu du grisoumètre après l'analyse du sang normal dans un premier tube à essai contenant de l'eau de baryte et je n'ai obtenu qu'un louche très léger tandis qu'après l'analyse du sang de l'animal qui avait respiré les gaz de la combustion, quelques centimètres cubes d'eau de baryte ont fourni un précipité abondant que j'ai décomposé par l'acide chlorhydrique après avoir introduit le 2e tube à essai dans un long tube uni à la pompe à mercure ; j'ai obtenu $0^{cm^3},95$ d'acide carbonique dont je retranche 0,15 fourni par le 1er tube à essai : le différence $0^{cm^3},8$ représente le volume d'acide carbonique, à peu près le double volume de la réduction obtenue, due à la consommation d'oxygène, ce qui caractérise complètement l'oxyde de carbone.

EXPÉRIENCE III. *Bec Bengel.* — J'ai répété exactement les mêmes expériences, en remplaçant dans le manchon le bec Auer dans lequel la combustion a lieu au centre d'un tissu à mailles fixes imprégné d'oxydes métalliques rares, par un bec Bengel à double courant d'air donnant une flamme beaucoup moins vive.

En faisant passer 73 litres de gaz provenant de la combustion du bec Bengel mélangés avec de l'air entraîné à travers l'appareil à combustion par l'oxyde de cuivre, j'ai obtenu un léger anneau dans le tube droit amenant les gaz dans l'eau de baryte, la décomposition de cet anneau a donné $1^{cm^3}2$, d'acide carbonique ; l'eau de baryte même très claire donne, chose étonnante, un peu d'acide carbonique quand on la décompose dans le vide par l'acide chlorhydrique pur étendu d'eau et que l'on a fait bouillir ; ainsi en opérant sur un volume d'eau de baryte parfaitement claire égal à celui qui remplissait le tube, j'ai obtenu $0^{cm^3},45$ d'acide carbonique ; il en résulte que 1,2 — 0,45 — $0^{cm^3},75$ d acide carbonique ont été produits par combustion ; le rapport $\frac{0.75}{73\,000}$ est égal à $\frac{1}{97\,000}$.

EXPÉRIENCE IV. — J'ai fait respirer à un chien les produits de la combustion d'un bec Bengel et le sang recueilli au bout d'une demi-heure a donné au grisoumètre une réduction égal à 0,9; un

volume égal de sang normal injecté tout d'abord dans le récipient vide de la pompe à mercure avait donné exactement la même réduction 0 9. Ainsi les produits de la combustion du bec Bengel ne contiennent pas la moindre trace d'oxyde de carbone.

Expérience V. — Ces recherches comparatives permettent-elles de conclure qu'il n'y a aucun inconvénient à respirer les gaz provenant de la combustion d'un bec Bengel ? Pour répondre à cette question que j'ai déjà traitée dans mon livre sur les poisons de l'air, il suffit d'aspirer à l'aide d'un tube recourbé uni à la pompe à mercure les gaz pris à 4 ou 5 centimètres au-dessus de la flamme et dans l'axe du cylindre de verre qui l'enveloppe ; les gaz aspirés lentement sont introduits dans une cloche graduée, pleine de mercure et analysés par la potasse et l'acide pyrogallique, voici deux résultats d'analyses faites sur deux prises différentes :

Gaz	En centièmes
$45^{cm^3},7$	3,7 CO^2
KOHO 44 1,7 CO^2	12,7 oxyg.
Acide pyrogallique 38, 2 5,8 oxygène	83,6 azote
38 2 azote	100,0

Gaz		En centièmes
44^{cm^3}		4,5 CO^2
KOHO 42	2 CO^2	10,2 oxyg.
Acide pyrogallique 36, 5	5,5 oxygène	85.3 azote
	36,5 azote	100.0

On voit que le gaz pris au-dessus de la flamme contient beaucoup d'acide carbonique, mais surtout il a perdu beaucoup d'oxygène ; en effet, 83,6 d'azote étaient mélangés dans l'air avec un volume d'oxygène qu'il est facile de calculer : $\frac{79,2}{20,8} = \frac{84,6}{x}$ $x = 21,9$, on ne retrouve que 12,7 d'oxygène, il y a donc eu consommation de $21,9 - 12,7 = 9,2$ oxygène, le rapport de l'oxygène consommé à l'acide carbonique produit est 2,48 ; dans la seconde analyse, 85,3 d'azote étaient mélangés avec 22,4 d'oxygène, on n'a retrouvé que 10,2 d'oxygène, il y a donc eu consommation de $22,4 - 10,2 = 12,2$ d'oxygène, le rapport de l'oxygène consommé à l'acide carbonique produit, est 2,7 ; nous pouvons dire que le volume d'oxygène consommé dans la combustion du gaz dans un bec Bengel, est deux fois et demie plus grand que le volume d'acide carbonique produit.

Expérience VI. *L'emploi du bec Auer peut-il produire un empoisonnement partiel?* — Je me suis demandé s'il est possible de reconnaître chez un animal qui respire dans une chambre fermée, éclairée pendant plusieurs heures par un bec Auer, un commencement d'empoisonnement par l'oxyde de carbone ; en d'autres termes, la quantité de ce gaz qui est mélangée avec les autres produits de la combustion, peut-elle donner, dans l'air confiné, une proportion d'oxyde de carbone suffisante pour que ce gaz soit fixé par le sang?

L'expérience seule pouvait répondre à cette question et je l'ai réalisée en imitant l'expérience classique et fondamentale de Félix Leblanc.

Le matin, à 8 heures et demie, je découvre chez un chien de forte taille, pesant 20 kilogrammes, l'une des artères carotides et j'aspire un volume de sang égal à 42 centimètres cubes qui a été injecté dans un récipient vide, contenant 100 centimètres cubes d'acide acétique privé de gaz ; la pompe à mercure a extrait 19^{cm^3},25 d'acide carbonique et j'ai obtenu dans mon grisoumètre, une réduction de 1,7 division, due au gaz combustible du sang normal. J'ai fait placer sur une table, au milieu d'une chambre dont la capacité est égale à 51 mètres

cubes, un bec Auer neuf, qui est allumé et qui brûle avec une grande régularité et un vif éclat. L'animal est attaché dans la même chambre, dans le plan horizontal qui contient le foyer lumineux et à un mètre de distance ; il respire les produits de la combustion qui se mélangent avec l'air de la pièce ; sept heures après le début de l'expérience, j'ai fait une seconde prise de sang qui m'a donné $19^{cm^3},85$ d acide carbonique, c'est-à-dire, seulement $0^{cm^3},6$ en plus ; au grisoumètre, j'ai obtenu une réduction égale à 2,2 ; retranchons 1,7 venant du sang normal, il reste 0,5 correspondant à l'oxyde de carbone extrait du sang. Calculons ce volume de gaz : un centimètre cube d'oxyde de carbone donne dans mon grisoumètre, une réduction de 7,6 divisions ; 0,5 division représente $0^{cm^3},065$ d'oxyde de carbone, ou $0^{cm^3},15$ de ce gaz dans 100 centimètres cubes de sang.

Si j'applique la loi d'absorption au bout d'une demi-heure, ce qui me donnera un maximum, car je ne connais pas encore le chiffre qui correspond à l'absorption au bout de sept heures, je trouve que ce très petit volume d'oxyde de carbone indiquerait dans l'air la présence de $\frac{1}{36000}$ d'oxyde de carbone, proportion absolu-

ment négligeable : je conclus de cette expérience décisive, que *l'emploi d'un bec Aüer ne peut pas produire d'empoisonnement.*

Conclusion. — D'une manière générale, il faut éviter de respirer les produits de combustion du gaz pour deux raisons : la première, c'est qu'il y a une diminution considérable de l'oxygène, l'air vital, par excellence ; la seconde, c'est que l'acide carbonique, mélangé avec l'air, diminue la proportion d'acide carbonique exhalée par les poumons, et contribue à l'accumulation de ce gaz dans le sang. J'ai démontré qu'il suffit que l'air contienne un centième ou un cinquantième d'acide carbonique pour que le poids de ce gaz, exhalé par les poumons, diminue d'une manière très sensible (Voir *Les Poisons de l'air*).

La lumière de Drummond dégage t-elle de l'oxyde de carbone? — On emploie si fréquemment pour les projections la lumière très vive, obtenue à l'aide d'un chalumeau double à gaz d'éclairage et à oxygène qui porte à l'incandescence la surface d'un bâton de chaux, que je me suis demandé s'il se produit dans ces conditions une certaine quantité d'oxyde de carbone.

On prend dans l'artère carotide d'un chien

un premier échantillon de sang normal qui renfermait du gaz combustible, produisant au grisoumètre une réduction de 1,5 division.

On place, au-dessus de la lanterne à projection, la chaux présentant un éclat éblouissant, un couvercle métallique uni à un réfrigérant à eau et à une soupape hydraulique d'inspiration : l'animal respire pendant une demi-heure les produits de combustion qui se dégagent au-dessus de la chaux ; une seconde prise de sang donne au grisoumètre une réduction égale à 1,4, c'est-à-dire égale à la précédente, d'où je conclus, avec certitude, que la lumière de Drummond ne dégage pas la moindre trace d'oxyde de carbone.

CHAPITRE IV

—

DOSAGE EXACT DU FORMÈNE OU GRISOU DANS L'AIR D'UNE MINE DE HOUILLE

La question du grisou a été traitée si complètement et d'une manière si claire dans un volume de cette Encyclopédie par M. le Chatelier, Ingénieur en chef des Mines, qu'il semble que tout ait été dit sur ce sujet si important ; je crois cependant que l'emploi du grisoumètre de Coquillion ou l'emploi de mon grisoumètre pourrait rendre encore des services dans la recherche et dans le dosage du grisou dans l'atmosphère intérieure des Mines.

J'ajouterai que pour aller vite, pour faire un grand nombre de dosages dans la même journée sur de l'air aspiré dans les diverses galeries par

des tubes de plomb, soit à l'aide d'une trompe à vapeur de Kœrting, comme l'a fait l'Ingénieur américain Th. Shaw, soit à l'aide de trompes hydrauliques, on peut employer aussi l'eudiomètre à fil de platine continu.

En lisant l'intéressant travail que M. Bailly a publié dans les *Annales des Mines*, 8me série, t. XIX, 2me livraison de 1891, j'ai admiré le procédé mécanique ingénieux qu'emploie M. Shaw pour rendre détonant l'air venant de la mine, en le mélangeant avec une proportion connue de gaz combustible, gaz d'éclairage, par exemple. Ce mélange gazeux est introduit dans un tube cylindrique offrant une ouverture devant laquelle brûle un bec de Bunsen ; s'il y a inflammation, un piston se déplace, choque un timbre et le son produit avertit l'Ingénieur qui peut par un signal prévenir les ouvriers du danger qu'ils courent.

Un mélange renfermant 6 °/₀ de grisou est détonant (M. Mallard).

Au lieu d'ajouter à l'air aspiré dans la mine et se dégageant dans une cuve à eau par l'extrémité d'une trompe hydraulique, un certain volume de gaz combustible, je trouve fort avantageux d'ajouter chaque fois 20 centimètres cubes de gaz de la pile, qui rendent le mélange dont

le volume total doit être voisin de 100 centimètres cubes toujours détonant.

Je citerai, comme exemple, deux analyses de mélanges d'air et de formène à 5 °/₀ et à 1 °/₀.

En ajoutant à 20 centimètres cubes de gaz de la pile de l'air pur, pour faire 100 centimètres cubes, et en faisant rougir un fil de platine introduit dans ce mélange, j'obtiens, après l'inflammation, un résidu égal à 80,2 ; ainsi la réduction produite par 20 centimètres cubes de gaz de la pile est égale à 100 — 80,2 ou à 19,8.

Analyse eudiométrique d'un mélange à 5 °/₀ de formène. — Dans une cloche graduée en centimètres cubes, j'introduis 190 centimètres cubes d'air et 10 centimètres cubes de formène pur et j'agite ; pour faire passer le gaz d'un flacon qui contient le formène dans une petite cloche graduée, j'emploie le procédé représenté par la *fig.* 17 qui permet d'éviter l'immersion des mains dans l'eau froide.

Je transvase dans une cloche de 100 centimètres cubes, $76^{cm^3},5$ de ce mélange à 5 °/₀, j'ajoute 20 centimètres cubes de gaz de la pile et je ferme la cloche avec le bouchon pourvu d'une anse de platine ; je fais rougir le fil, une détonation assez forte se produit, on ouvre le

robinet, on agite le gaz restant avec un petit tube à essai, contenant une solution de potasse,

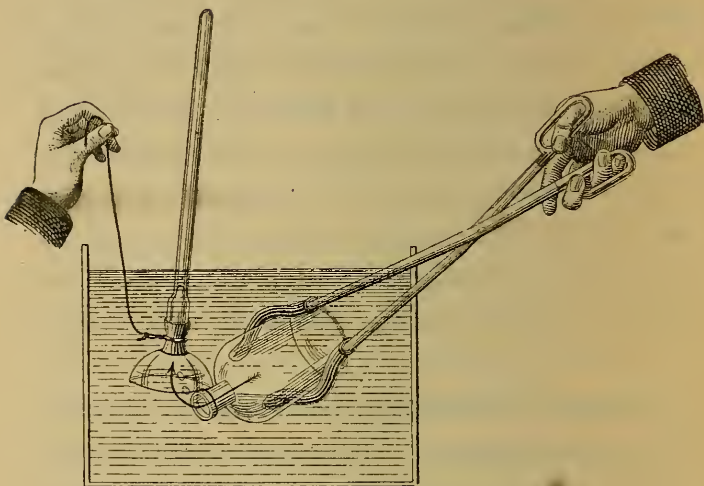


Fig. 17. — Transvasement de gaz d'un flacon dans une cloche graduée, à l'aide d'un entonnoir à gaz.

le volume restant est égal à 66 centimètres cubes :

96,5	
66	
30,5	réduction totale.
19,8	réduction due au gaz de la pile.
10,7	réduction due au formène.

Le tiers de cette réduction ou 3,56 représente le formène qui était contenu dans $76^{cm^3},5$ du mélange ; 100 centimètres cubes du mélange con-

tenant 5 centimètres cubes de formène, 76,5 devaient renfermer 3,7, l'analyse eudiométrique fait retrouver 3,6.

Analyse eudiométrique d'un mélange à 1 °/₀ de formène. — J'introduis dans la cloche 67^{cm^3},5 de ce mélange et 20 centimètres cubes de gaz de la pile, j'obtiens une assez forte détonation ; j'absorbe par la potasse l'acide carbonique formé et le volume qui était d'abord 87^{cm^3},5 devient 65 centimètres cubes :

87,5	
65	
22,5	réduction totale.
19,8	réduction due au gaz de la pile.
2,7	réduction due au formène.

Le tiers de cette réduction est 0,9 ; on aurait dû trouver 0,7.

Pour un mélange à 1 °/₀, l'analyse grisoumètrique est plus exacte. Voici, à mon avis, les trois opérations qu'il serait bon de faire successivement dans la recherche du grisou, dans l'atmosphère des mines de houille :

1° Avec le gaz aspiré d'une manière continue à l'aide d'une trompe hydraulique et se dégageant dans une cuve à eau par un tube abduc-

teur, on remplit une cloche de verre que l'on ferme avec le pouce et que l'on présente à une petite flamme de gaz maintenue allumée ; s'il y a inflammation ou détonation, la proportion de grisou dans l'air, est égale ou supérieure à 6 $^0/_0$ (M. Mallard), c'est une proportion très dangereuse, il faut faire évacuer la mine.

2° Si le gaz ne s'enflamme pas, on l'introduit après l'avoir dépouillé d'acide carbonique dans la cloche qui sert d'eudiomètre, on opère sur 75 à 80 centimètres cubes de gaz auxquels on ajoute 20 centimètres cubes de gaz de la pile, on opère comme je viens de le dire.

3° Si la réduction produite dans l'eudiomètre est fort petite, on fait une mesure au grisoumètre qui permettra de doser exactement le formène depuis un centième jusqu'à un millième et même dans des limites plus étendues.

J'espère que ces essais qui devraient être obligatoires dans les mines diminueraient le nombre des accidents qui sont encore si fréquents et si terribles à notre époque.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE III

Eudiométrie

CHAPITRE IV

Gazomètres

CHAPITRE V

Dosage des gaz par l'oxyde de cuivre

CHAPITRE VI

Dosage de l'acide carbonique

CHAPITRE VII

Extraction des gaz contenus dans le parenchyme des feuilles

DEUXIÈME PARTIE

APPLICATIONS A L'HYGIÈNE

CHAPITRE PREMIER

Absorption de l'oxyde de carbone

CHAPITRE II

Recherches sur les produits de la combustion du coke dans le brasero des gaziers

CHAPITRE III

Recherches comparatives sur les produits de combustion du gaz d'éclairage fournis par le bec Auer et par le bec Bengel

CHAPITRE IV

Dosage exact du formène ou grisou dans l'air d'une mine de houille

ST-AMAND (CHER). IMPRIMERIE DESTENAY, BUSSIÈRE FRÈRES



VINGT-DEUXIÈME ANNÉE

44 VOLUMES

Publiés



REVUE DES SCIENCES

Et de leurs Applications aux Arts et à l'Industrie

Journal Hebdomadaire Illustré

RÉDACTEUR EN CHEF

Gaston **TISSANDIER**





Renouvellement d'Abonnement au 1er Décembre 1894

Recettes et Procédés Utiles

Récréations Scientifiques

Actualités Scientifiques

Boite aux Lettres

Les Abonnements et Renouvellements sont reçus

à la Librairie G. MASSON

120, BOULEVARD ST-GERMAIN, PARIS

PRIX d'Abonnements :			
Un an	: Paris, **20** fr.	Départements, **25** fr.	Union postale, **26** fr.
Six mois	— **10** fr.	— **12** fr. **50**	— **13** fr.

Le Numéro : 50 Centimes

Principaux Ouvrages Médicaux

CLINIQUE MÉDICALE DE LA CHARITÉ

LEÇONS & MÉMOIRES

Par le professeur **POTAIN**
et ses collaborateurs

Ch. A. François-Franck
Professeur suppléant au Collège de France

E. Suchard
Chef de laboratoire d'anatomie pathologique

H. Vaquez
Chef de clinique à la Faculté de Médecine

P. J. Teissier
Interne des Hôpitaux de Paris

1 fort vol. in-8° de 1,060 p. avec nombreuses fig. dans le texte. 30 fr.

Ce volume contient tout d'abord des *leçons* du professeur, recueillies par M. Vaquez. Celles qui ont été choisies se rapportent toutes aux maladies du cœur. — Le reste du livre est composé de travaux et de recherches poursuivis dans le service : deux mémoires de M. Potain (*des souffles cardio-pulmonaires et du choc de la pointe du cœur*), sont la démonstration complète de certains points de la séméiologie cardiaque. — M. Vaquez a donné un mémoire sur la *Phlébite des membres;* M. Teissier a rédigé les *Rapports du rétrécissement mitral pur avec la tuberculose;* M. Suchard a fourni un intéressant travail sur la *Technique des autopsies cliniques.* — Enfin, M. François-Franck a rédigé un très important mémoire, l'*Analyse de l'action expérimentale de la digitaline.* — L'ensemble de ce volume forme donc un tout traitant tout spécialement des maladies du système circulatoire.

Manuel des Amputations du Pied

Par G. Roux de Brignoles, professeur suppléant à l'École de Médecine de Marseille, chirurgien des hôpitaux, précédé d'une préface de M. L. Ollier, professeur de clinique chirurgicale à la Faculté de Lyon, 1 vol. relié toile avec 90 figures et planches. . . 10 fr.

Atlas de Laryngologie et de Rhinologie

Par A. Gouguenheim, médecin de l'hôpital Lariboisière et J. Glover, ancien interne de la clinique laryngologique de l'hôpital Lariboisière. 1 vol. in-4° avec 37 planches en noir et en couleur, comprenant 246 figures et 47 fig. dans le texte . . . . 50 fr.

Cliniques chirurgicales de la Pitié

Par le Dr Paul Reclus, chirurgien de l'hôpital de la Pitié, professeur agrégé à la Faculté de Paris, membre de la Société de Chirurgie. 1 vol. in-8 avec fig. dans le texte . . . . 10 fr.

Traité pratique des Maladies du Système nerveux

Par J. Grasset, professeur de clinique médicale à la Faculté de Montpellier, et G. Rauzier, chargé du cours de Pathologie interne à la Faculté de médecine de Montpellier. *Quatrième édition*, revue et considérablement augmentée. 2 vol. grand in-8°, avec 122 figures et 33 planches dont 15 en chromo et 10 en héliogravure. . . 45 fr.

parus depuis le 1er Janvier 1894

TRAITÉ

DES MALADIES DES YEUX

Par **Ph. PANAS**

Professeur de clinique ophtalmologique à la Faculté de Médecine
Chirurgien de l'Hôtel-Dieu — Membre de l'Académie de Médecine

2 vol. gr. in-8° avec 453 fig. et 7 pl. coloriées, cartonnés. . . 40 fr.

Dans cet ouvrage, l'auteur s'est attaché à donner d'une façon concise l'état actuel de la science ophtalmologique en prenant pour base la clinique sans négliger l'enseignement et les recherches de laboratoire. — Le premier volume comprend l'anatomie, la physiologie, l'embryologie, l'optique et la pathologie du globe de l'œil. — Le second contient ce qui a trait à la musculature, aux paupières, aux voies lacrymales, à l'orbite et aux sinus cranio-faciaux ; le tout envisagé au point de vue de l'anotomie, de la physiologie et de la pathologie. En un mot, essentiellement pratique, ce livre s'adresse autant aux étudiants qu'aux ophtalmologues de profession.

Leçons de Thérapeutique

Par le Dr Georges Hayem, professeur à la Faculté de médecine de Paris, Membre de l'Académie de médecine.

Les Agents physiques : agents thermiques, électricité, modifications de la pression atmosphérique, climats et eaux minérales, 1 vol. in-8° avec nombreuses fig. dans le texte et une carte des eaux minérales et des stations climatériques. . . . . 12 fr.

Les Hernies Inguinales de l'Enfance

Par le Dr G. Félizet, chirurgien de l'hôpital Tenon (Enfants-malades) 1 vol. in-8° de 420 pages avec 73 figures dans le texte. . . 10 fr.

La Nouvelle Législation Médicale

Commentaire et texte de la loi du 30 novembre 1892, et des lois, décrets et règlements s'y rattachant : docteurs, officiers de santé, dentistes, sages-femmes, étudiants français et étrangers, par MM. Lechopié, avocat à la Cour de Paris, et le Dr Floquet, licencié en droit, médecin du Palais de Justice de Paris et du Tribunal de commerce, *auteurs du Code des Médecins*. Préface de M. le Dr Cornil. 1 vol. in-12, de 364 pages. Broché. . . . . 4 fr. 50

Précis d'Obstétrique

Par MM. A. Ribemont-Dessaignes, agrégé à la Faculté de Médecine de Paris, accoucheur de l'hôpital Beaujon, et G. Lepage, chef de clinique obstétricale à la Faculté de Médecine. 1 fort vol. in-8° de 1300 pages avec 480 figures dans le texte . . . . 30 fr.

Précis d'Hygiène privée et sociale

Par A. Lacassagne, professeur de médecine légale à la Faculté de Lyon. *Troisième édition*, revue et augmentée. 1 vol. in-16 diamant, cartonné à l'anglaise, tranches rouges . . . . 7 fr.

TOME IV (1re Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

1er fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique;* avec 155 fig. et 1 planche . . . . 7 fr.
2e fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques;* avec 161 fig. et 1 planche . . . . 6 fr.

TOME IV. — (2e Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.

3e fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Electromagnétisme. Induction;* avec 240 figures. . . . . 8 fr.
4e fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales;* avec 84 fig. et 1 pl. . . . . 5 fr.

TABLES GÉNÉRALES.

Tables générales, par ordre de matières et par noms d'auteurs, des quatre volumes du Cours de Physique. In-8; 1891 . . . 60 c.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viendront compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.

ANDRIEU (Pierre), Chimiste agronome. — **Le vin et les vins de fruits.** *Analyse du moût et du vin. Vinification. Sucrage. Maladies du vin. Etude sur les levures de vin cultivées. Distillation.* In-8 de 380 pages, avec 78 figures; 1894. . . . . 6 fr. 50

ARNOUX (Gabriel), ancien Officier de Marine. — **Essais de Psychologie et de Métaphysique positives. — Arithmétique graphique. — Les espaces arithmétiques hypermagiques.** Grand in-8, avec figures et 1 planche en couleur; 1894. Papier Hollande, 12 fr., Vélin. . . . . 6 fr.

BARILLOT (Ernest), Expert-Chimiste près les Tribunaux, Membre de la Société chimique de Paris. — **Traité de Chimie légale.** *Analyse toxicologique. Recherches spéciales.* In-8, avec figures; 1894. 6 fr. 50

BOUSSAC, inspecteur général des Postes et Télégraphes. — **Construction des lignes électriques aériennes.** (*Ecole Professionnelle supérieure des Postes et Télégraphes*). Ouvrage complété par E. MASSIN, ingénieur des Télégraphes. Grand in-8, avec 201 figures; 1894. 6 fr. 50

GIRARD (Aimé). — **Recherches sur la culture de la pomme de terre industrielle et fourragère.** 2e édition. Un volume de texte grand in-8 avec figures et Atlas contenant 6 belles planches en héliogravure; 1891 . . . . 8 fr.

On vend séparément :

Texte. . . 3 fr. 75 | Atlas . . . . 5 fr.

HERZBERG (Wilhelm), Directeur du Bureau Royal d'Analyse des papiers à Berlin. — **Analyse et essais des papiers,** suivis d'une *Etude sur les papiers destinés à l'usage administratif en Prusse* (Normal-Papier), par *Carl Hoffmann*, Ingénieur civil, Directeur de la *Papier Zeitung*. Ouvrage avec figures et 2 planches; 1894. . . . . 5 fr.

MANNHEIM (Le Colonel A.), Professeur à l'Ecole Polytechnique. — **Principes et Développements de la Géométrie cinématique.** *Ouvrage contenant de nombreuses applications à la théorie des surfaces.* In-4, avec 186 figures; 1894. . . . . 25 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

ENCYCLOPÉDIE

DES TRAVAUX PUBLICS

ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE

FONDÉES PAR

M. M.-C. LECHALAS

Inspecteur général des Ponts et Chaussées

BRICKA (C.), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de la voie et des bâtiments aux Chemins de fer de l'Etat. — **Cours de Chemins de fer,** *professé à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées.* 2 beaux volumes grand in-8, se vendant séparément. (E. T. P.)

Tome I : *Etudes. — Construction. — Voie et appareils de voie.* Avec 326 figures, 1894 . . . . 20 fr.

Tome II : *Matériel roulant. — Traction. — Exploitation technique. — Exploitation commerciale. – Tarifs. — Régime des concessions. — Dépenses de construction et d'exploitation. — Appendice : Chemins de fer de systèmes divers*; 1894 (Paraîtra à la fin de 1894).

L'éminent ingénieur Sévène, qui a longtemps professé le Cours de Chemins de fer à l'Ecole des Ponts et Chaussées, avait fait autographier ses Leçons; mais cet Ouvrage est épuisé depuis longtemps, — et d'ailleurs, si grande qu'ait été sa valeur, il ne serait plus au courant des progrès réalisés depuis cette époque. Aussi M. Bricka a-t-il rendu un service signalé à tous ceux qui s'intéressent à l'art de l'Ingénieur en publiant l'Ouvrage considérable que nous annonçons et qui contient non seulement les matières du cours oral, mais beaucoup de questions et bien des détails que les Leçons ne peuvent donner.

Cette œuvre émane d'un homme qui a beaucoup fait, beaucoup vu faire, et qui maintenant dirige l'un des grands services des Chemins de fer de l'Etat, en même temps qu'il enseigne à nos futurs ingénieurs la plus difficile des parties de leur art. C'est dire qu'elle apporte une puissante contribution à toutes les questions relatives aux Chemins de fer.

Titres des Chapitres : Etudes préalables. Etudes définitives. Construction. Bâtiments. Présentation des projets. Voie proprement dite. Appareils de voie. Signaux et enclenchements. Prix des principaux appareils de voie. Entretien et surveillance. Annexes. Lois, décrets et ordonnances. Cahier des charges. Conditions d'épreuves. Note sur les procédés d'injection des traverses.

CRONEAU (A.), Ingénieur de la Marine, Professeur à l'Ecole d'application du Génie maritime. — **Architecture navale. — Construction pratique des navires de guerre.** 2 volumes gr. in-8° se vendant séparément. (E. T.)

Tome I : *Plans et devis. — Matériaux. — Assemblages. — Différents types de navires. — Charpente. — Revêtement de la coque et des ponts.* Gr. in-8, avec 305 fig. et un Atlas de 11 pl.; 1894, ... 18 fr.

Tome II : *Cloisonnement. — Cuirassement. — Ouvertures percées dans la coque, les ponts et les cloisons. — Ventilation. — Services d'eau. — Gouvernails. — Poids et résistance des coques. — Préservatifs des corrosions.* Grand in-8, avec nombreuses figures; 1894. paraîtra à la fin de 1894 . . . . 12 fr.

DENFER (J.). Architecte, Professeur à l'École Centrale. — **Architecture et constructions civiles. — Couvertures des édifices.** — *Ardoises, tuiles, métaux, matières diverses, chéneaux et descentes.* Grand in-8 de 469 pages, avec 423 figures ; 1893. (E. T. P.). . . . . 20 fr.

M. Denfer est connu par les grands travaux qu'il a exécutés à Paris et en province et par le succès de ses ouvrages précédents : *Maçonnerie ; Charpente en bois et menuiserie.*

La *Couverture des édifices* est une de ces monographies de spécialités destinées à rester longtemps classiques, tant elles sont complètes, claires, bien illustrées de dessins exacts pouvant servir dans les applications. Elle se divise en huits chapitres dont voici les titres :

Chap. I : *Considérations générales.* — Chap. II : *Couvertures en ardoises.* — Chap. III : *Couvertures en pierres, ciments et asphaltes.* — Chap. IV : *Couvertures en tuiles.* — Chap. V : *Couvertures en verre.* — Chap. VI : *Couvertures métalliques.* — Chap. VII : *Couvertures en matériaux ligneux.* — Chap. VIII : *Gouttières, chéneaux et accessoires de couverture.*

Pour donner une idée du soin apporté à la division méthodique de chaque sujet nous donnons ici les titres des paragraphes en lesquels se divise le Chapitre VI :

Couvertures en feuilles de zinc. — Couvertures en zinc des bandeaux et corniches. — Ardoises et tuiles métalliques. — Feuilles métalliques ondulées. — Couvertures en cuivre. — Couvertures en plomb.

La couverture des maisons est certainement la partie qui, généralement, laisse le plus à désirer, en même temps que celle dont les défectuosités influent le plus sur les frais d'entretien des immeubles. On peut dire, à ce double point de vue, que l'ouvrage de M. Denfer rendra les plus grands services aux propriétaires et aux architectes, en même temps qu'aux entrepreneurs et ouvriers des spécialités diverses se rattachant au sujet.

DENFER (J.). Architecte, professeur à l'Ecole Centrale. — **Architecture et Constructions civiles. — Charpenterie métallique. Menuiserie en fer et serrurerie.** — 2 beaux volumes se vendront séparément. (E. T. P).

Tome I : *Généralités sur la fonte, le fer et l'acier. — Résistance de ces matériaux. — Assemblages des éléments métalliques. — Chaînages, linteaux et poitrails. — Planchers en fer. — Supports verticaux. Colonnes en fonte. Poteaux et piliers en fer.* Grand in-8 de 584 pages, avec 479 figures ; 1894. 20 fr.

Tome II : *Paraîtra à la fin de* 1894).

LECHALAS (Georges), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. — **Manuel de droit administratif.** *Service des Ponts et Chaussées et des chemins vicinaux.* 2 volumes grand in-8, se vendant séparément. (E. T. P.).

Tome I : *Notions sur les trois pouvoirs. Personnel des Ponts et Chaussées. Principe d'ordre financier. Travaux intéressant plusieurs services. Expropriations. Dommages et occupations temporaires ;* 1889. . . . . 20 fr.

Tome II (Ire Partie) : *Participation des tiers aux dépenses des travaux publics. Adjudications Fournitures. Régie. Entreprises. Concessions ;* 1893 . . . . 10 fr

Ferret (l'abbé). — *La Photogravure sans Photographie.* In-18 jésus; 1894. . . . . 1 fr. 25

Fourtier (H.). — *Dictionnaire pratique de Chimie photographique, contenant une Étude méthodique des divers corps usités en Photographie,* précédé de *Notions usuelles de Chimie* et suivi d'une Description détaillée des *Manipulations photographiques.* Grand in-8, avec figures; 1892 . . . . 8 fr. »»

Fourtier (H.) et **Molteni** (A.) — *Les projections scientifiques.* Etude des appareils, accessoires et manipulations diverses pour l'enseignement scientifique par les projections. In-18 jésus de 300 pages avec 113 figures; 1894. Broché, 3 fr. 50. Cartonné . . . . 4 fr. 50

Geymet. — *Traité pratique de Photographie.* Eléments complets, méthodes nouvelles. Perfectionnements. 4e édition revue et augmentée par *Eugène Dumoulin.* In-18 jésus; 1894 . . . . 4 fr.

Karl (Van). — *La Miniature photographique.* Procédé supprimant le ponçage, le collage, le transparent, les verres bombés et tout le matériel ordinaire de la Photominiature, donnant sans aucune connaissance de la peinture les miniatures les plus artistiques. In-18 jésus . . . . 0 fr. 75

Koehler (Dr R.). — *Applications de la Photographie aux Sciences naturelles.* Petit in-8, avec figures; 1893. Broché, 2 fr. 50. Cartonné toile anglaise . . . . 3 fr.

Londe (A), Chef du service photographique à la Salpêtrière. — *La Photographie instantanée.* 2e édit. In-18 jés. avec fig.; 1890. 2 fr. 75

— *Traité pratique du développement.* Étude raisonnée des divers révélateurs et de leur mode d'emploi. 2e édition. In-18 jésus, avec figures et 4 doubles planches en photocollographie; 1892 . 2 fr. 75

— *La photographie médicale. Applications aux sciences médicales et physiologiques.* Grand in-8, avec 80 figures et 19 planches; 1893 9 fr.

Martin (Ad.). — *Méthode directe pour la détermination des courbures des objectifs de Photographie.* Grand in-8 avec figures; 1894 . 2 fr.

Rouillé-Ladevèze. — *Sépia-photo et sanguine-photo.* In-18 jésus; 1894. . . . . 75 c.

TRUTAT (E.). — *La Photographie en montagne.* In-18 jésus, avec figures et 1 planche; 1894 . . . . 2 fr. 75

Vidal (Léon). — *Traité de Photolithographie. Photolithographie directe et par voie de transfert. Photozincographie. Photocollographie. Autographie. Photographie sur bois et sur métal à graver.— Tours de main et formules diverses.* In-18 jésus, avec 25 figures, 2 planches et spécimens de papiers autographiques; 1893. . . . . 6 fr. 50

Vieuille. — *Nouveau guide pratique du photographe amateur.* 3e édit. refondue et beaucoup augmentée. In-18 jésus avec fig.; 1892. 2 fr. 75

Wallon (E.). — *Choix et usage des objectifs photographiques.* Petit in-8 avec 25 fig; 1893. Broché, 2 fr. 50. Cartonné toile angl. 3 fr.

Appell (Paul), Membre de l'Institut. — **Traité de Mécanique rationnelle.** (Cours de Mécanique de la Faculté des Sciences). 3 volumes grand in-8, se vendant séparément.
TOME I : *Statique. Dynamique du point*, avec 178 fig.; 1893. 16 fr.
TOME II et TOME III : (*sous presse*).

Appell (Paul), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, et **Goursat (Edouard)**, Maître de Conférences à l'Ecole Normale supérieure. — **Théorie des fonctions algébriques et de leurs intégrales.** *Etude des fonctions analytiques sur une surface de Riemann.* Grand in-8, avec figures; Prix pour les souscripteurs . . . . 14 fr.
Le premier fascicule (x-256 pages) a paru.

Chappuis (J.), Professeur de Physique générale à l'Ecole Centrale, et **Berget (A.)**, Docteur ès sciences, attaché au laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne. — **Leçons de Physique générale.** *Cours professé à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures et complété suivant le programme de la Licence ès sciences physiques.* 3 volumes grand in-8 se vendant séparément : TOME I : *Instruments de mesure. Chaleur.* Avec 175 figures ; 1891 . . . . 13 fr.
TOME II : *Electricité et Magnétisme.* Avec 305 figures ; 1891. . 13 fr.
TOME III : *Acoustique. Optique; Electro-optique.* Avec 193 figures ; 1892 . . . . 10 fr.

Chevrot (René), Ancien Directeur d'Agence de la Société Générale et du Crédit Lyonnais. — **Pour devenir financier. Traité théorique et pratique de Banque et de Bourse.** In-8 ; 1893 . 6 fr.

Cundill (J.-P.), Lieutenant-Colonel de l'Artillerie royale anglaise, Inspecteur des Explosifs. — **Dictionnaire des explosifs.** Edition française remaniée et mise à jour avec le concours de l'Auteur par E. DÉSORTIAUX, Ingén. des Poudres et S. Grand in-8 ; 1893. 6 fr.

Garçon (Jules). — **La pratique du teinturier.** 3 volumes in-8, se vendant séparément.
TOME I : *Les méthodes et les essais de teinture. Le succès en teinture* ; 1893 . . . . 3 fr. 50
TOME II : *Le matériel de teinture.* (*Sous presse.*)
TOME III: *Les recettes et procédés spéciaux de teintures.* (*S. P.*).

Janet (Paul), Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble. — **Premiers principes d'électricité industrielle.** *Piles. Accumulateurs. Dynamos. Transformateurs.* In-8, avec 173 fig, ; 1893. . 6 fr.

Miquel. — **Manuel pratique d'Analyse bactériologique des eaux.** In-18 jésus, avec figures; 1891 . . . . 2 fr. 75

Rodet et Busquet, Ingénieurs des Arts et Manufactures. — *Les courants polyphasés.* Grand in-8, avec 71 figures ; 1893 . . 3 fr. 50

Thomson (Sir William) [Lord Kelvin], — **Conférences scientifiques et allocutions.** *Constitution de la matière.* Ouvrage traduit et annoté sur la 2e édition, par P. LUGOL, Agrégé des Sciences physiques, professeur ; avec des *Extraits de Mémoires recents de Sir W. Thomson et quelques Notes* par M. BRILLOUIN, Maître de Conférences à l'Ecole Normale. In-8, avec 76 figures; 1893 . . . 7 fr. 50

Witz (Aimé). — **Problèmes et calculs pratiques d'électricité.** — (L'ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE). In-8, avec 51 figures ; 1893. 7 fr. 50

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

Ouvrages parus et en cours de publication

houille.

De la Baume Pluvinel. — La théorie des procédés photographiques.

J. Resal. — Emploi des métaux et du bois dans les constructions.

Garnier et Godard. — Montage et conduite des machines à vapeur.

Reclus. — Affections des organes génitaux de l'homme.

Hénocque. — Spectroscopie biologique.

Dehérain. — Les céréales.

Straus. — Les bactéries.

A.-J. Martin. — Hygiène de l'habitation privée.

Brun. — Examen et exploration de l'œil.